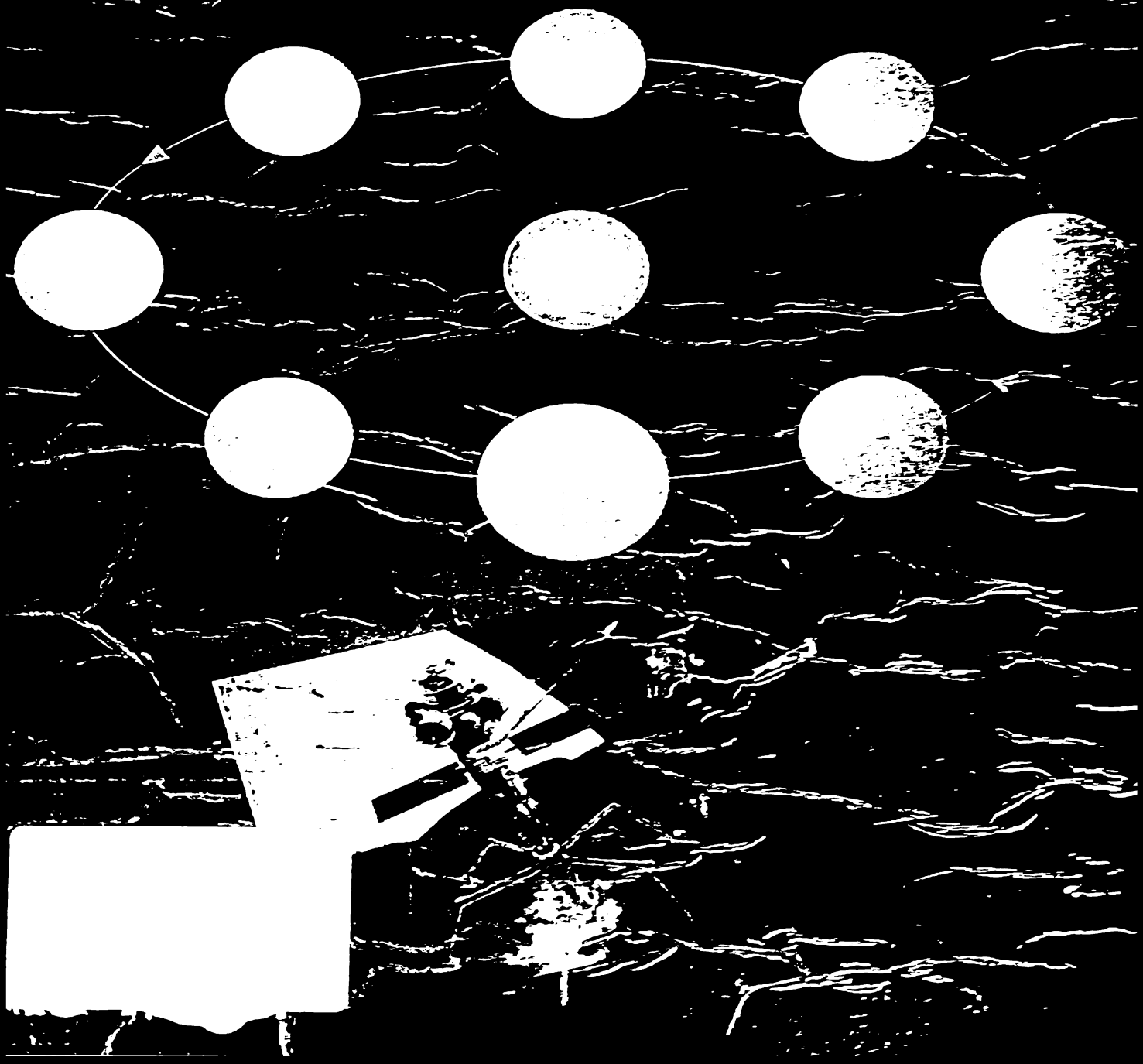
मनोरंजक खगोलशास्त्र

लेखक : या. पेरेलमन

अनुवाद : प्र. पां. संझगिरी



मनोरंजक खगोलशास्त्र

लेखक : या. पेरेलमन

अनुवाद : प्र. पा. संझगिरी

लोकवाङ्मय गृह

मनोरंजक खगोलशास्त्र / या. पेरेलमन । अनुवाद : प्र. पा. संझगिरी
Manoranjak Khagolshastra : Y. Perelman
Translated by P. P. Sanzagiri

म / ७५८
पहिली आवृत्ती : ऑक्टोबर १९६२
पुनर्मुद्रण (I) : जून २००३

© लोकवाङ्मय गृह

मूल्य : १६० रुपये

ISBN 81-88284-22-X

मुद्रक / प्रकाशक :
प्रकाश विश्वासराव
लोकवाङ्मय गृह
भूपेश गुप्ता भवन
८५, सयानी रोड
प्रभादेवी, मुंबई - ४०० ०२५

मुद्रणस्थळ :
न्यू एज प्रिंटिंग प्रेस
भूपेश गुप्ता भवन
८५, सयानी रोड
प्रभादेवी
मुंबई - ४०० ०२५

प्रस्तावना

फ्रेंच पंडित आरोगो याने म्हटल्याप्रमाणे खगोलशास्त्र हे एक भाग्यवान शास्त्र आहे, त्याला साजशृंगाराची गरज नाही. या शास्त्राने लावलेले शोधच इतके चित्ताकर्षक आहेत की त्याकडे लक्ष वेधून घेण्यासाठी वेगळे सायास करण्याची गरज नाही. तरीसुद्धा अंतरिक्षासंबंधीचे हे शास्त्र म्हणजे केवळ विस्मयकारक शोधांचा आणि धाडशी विचारांचा संग्रह नव्हे. दररोज घडणाऱ्या साध्यासुध्या घटना हा त्याचा मुख्य विषय आहे. साधारणत: बहुतेक सामान्य जनांची खगोलशास्त्राच्या हा साध्या अंगाविषयीची कल्पना काहीशी पुसटच असते. त्यांना त्याचे फारसे कुतूहल वाटत नाही, कारण नेहमी डोळ्यांसमोर असलेल्या वस्तूंवर लक्ष केंद्रित करणे खरोखर अवघडच असते.

आकाशविषयक शास्त्राची ही दैनंदिन बाजू—त्या शास्त्रांतील आधुनिक शोध नव्हे तर त्याचा आरंभ—हाच, पूर्णतया नाही तरी मुख्यत: 'मनोरंजक खगोलशास्त्रा'चा विषय आहे. खगोलशास्त्राच्या मूलभूत गोष्टींची वाचकाला ओळख करून देणे हा या पुस्तकाचा उद्देश आहे. मात्र त्या शास्त्राचे प्राथमिक पाठ्यपुस्तक म्हणून त्याकडे पाहू नका, कारण आमची मांडणी कोणत्याही पाठ्यपुस्तकाहून मूलत: वेगळी आहे. तुमच्या परिचयाच्या साध्या घटना त्यात अनपेक्षित विरोधाभासाच्या रूपात हजर केल्या आहेत, किंवा त्यांना चमत्कारिक आणि अनपेक्षित वळण देऊन मांडलेल्या आहेत; हेतू एवढाच की कल्पनाशक्तीला चालना मिळावी आणि कुतूहल जागृत व्हावे. व्यावसायिक संज्ञा आणि तांत्रिक अवडंबर यामुळे पुष्कळदा वाचक खगोलशास्त्रावरील पुस्तकांपासून दूरच राहतात. या अडचणीपासून प्रस्तुत विषय शक्यतो मुक्त ठेवण्याचा प्रयत्न आम्ही केला आहे.

लोकसुलभ विज्ञानावरची पुस्तके असावीत तशी सखोल असत नाहीत असा आक्षेप पुष्कळदा घेण्यात येतो. एक प्रकारे हा आरोप खरा आहे आणि हरतऱ्हेचे गणित टाळण्याची वृत्ती लक्षात घेतल्यास (काटेकोर निसर्गविषयक

शास्त्रांचा विचार करता) ह्या आक्षेपास पुष्टी मिळते. परंतु अगदी प्राथमिक स्वरूपात का होईना, गणित कसे करावे हे शिकूनच वाचकाला आपला विषय आत्मसात करता येतो. म्हणून 'मनोरंजक खगोलशास्त्र' ह्या पुस्तकात तसेच ह्या मालेच्या इतर पुस्तकांत साध्या प्रकारचे गणित टाळण्याचा लेखकाने प्रयत्न केलेला नाही. शाळेत गणितशास्त्राचा अभ्यास ज्यांनी केला असेल त्यांच्या सहज आटोक्यात येईल, अशा सोप्या स्वरूपात ते मांडण्याची मात्र लेखकाने काळजी घेतली आहे हे खरे. त्याचे असे ठाम मत आहे की तसे केल्याने मिळविलेले ज्ञान ठसविण्यास मदत होते. एवढेच नव्हे तर अधिक गंभीर स्वरूपाच्या वाचनासही ती उपयुक्त प्रस्तावना ठरते.

पृथ्वी, चंद्र, ग्रह, तारे आणि गुरुत्वाकर्षण या विषयी या पुस्तकात प्रकरणे आहेत. अशा प्रकारच्या ग्रंथांत ज्या साहित्याचा सहसा विचार होत नाही त्यावरच लेखकाने लक्ष केंद्रित केले आहे. ह्या पुस्तकात गाळलेले विषय दुसऱ्या पुस्तकात* घेता येतील अशी त्याला आशा आहे. अर्थात आधुनिक खगोलशास्त्राच्या समृद्ध आशयाची तपशीलवार मीमांसा करण्याचा प्रयत्न या पुस्तकात केलेला नाही हे सांगितले पाहिजे.

– या. पेरेलमन

---

* या पुस्तकास जोडून या विषयावर आणखी एक खंड लिहिण्याचा श्री. पेरेलमन यांचा विचार होता. दुर्दैवाने १९४२ सालीच युद्धपीडित लेनिनग्राडमध्ये ते अकाली कालवश झाल्यामुळे त्यांची ही योजना मूर्तस्वरूप धारण करू शकली नाही. मात्र पुस्तक अद्ययावत व्हावे या हेतूने नंतर त्यात कित्येक बारीकसारीक बदल करण्यात आले आहेत. – **प्रकाशकाची टीप**

अनुक्रमणिका

प्रस्तावना तीन

प्रकरण पहिले

पृथ्वी, तिचा आकार आणि गती

लघुतम अंतर : पृथ्वीवर आणि नकाशांवर १
रेखांश आणि अक्षांश ९
आमंदसेन कोणत्या दिशेने गेला? १०
कालमापनाच्या पाच तऱ्हा १०
दिनमान १५
चमत्कारिक सावली १८
दोन आगगाड्यांचे कोडे २०
'शुभ्र' रात्री आणि 'काळे' दिवस २१
उजेड आणि अंधार २३
ध्रुवावरील सूर्याचे कोडे २४
ऋतूंचा आरंभ केव्हा होतो? २५
तीन 'जर—' २७
आणखी एक 'जर—' ३२
सूर्य अधिक जवळ केव्हा, मध्यान्ही का संध्याकाळी? ४०
एक मीटर वाढवा! ४१
निरनिराळ्या दृष्टिकोणांतून ४२
अपार्थिव काल ४६
मास आणि वर्ष कुठे सुरू होतात? ४९
फेब्रुवारी महिन्यात शुक्रवार किती? ५१

प्रकरण दुसरे
चंद्र आणि त्याची गती

चंद्राची कोर ५२
ध्वजावरचा चंद्र ५३
चंद्राच्या कलांचे रहस्य ५४
दुहेरी ग्रह ५६
चंद्र सूर्यावर जाऊन पडत कां नाही? ५८
चंद्राच्या दृश्य आणि अदृश्य बाजू ६०
दुसरा चंद्र आणि चंद्राचा चंद्र ६४
चंद्रावर हवा कां नाही? ६५
चंद्राचा आकार ६९
चंद्रावरील सृष्टिचित्र ७०
चंद्रावरचे आकाश (गर्द काळे छत) ७६
चंद्रावरून होणारे पृथ्वीचे दर्शन ७७
चंद्रावरची ग्रहणे ८१
ज्योतिःशास्त्रज्ञ ग्रहणांचे वेध कां घेतात? ८३
ग्रहणे दर १८ वर्षांनी कां येतात? ९०
हे शक्य आहे का? ९३
ग्रहणांसबंधी अपरिचित गोष्टी ९५
चंद्रावर हवामान कसे आहे? ९८

प्रकरण तिसरे
ग्रह

दिवसा ग्रहदर्शन १००
ग्रहांची चिन्हे १०१
आपल्या आवाक्याबाहेरची आकृती १०३
बुधावर वातावरण कां नाही? १०६

शुक्राची क्षयवृद्धी १०८
सर्वात अनुकूल षड्भांतर १०९
गुरू ग्रह की छोटा सूर्य १११
शनीची कडी नाहीशी होतात? ११३
ज्योतिःशास्त्रीय कोडी ११४
नेपच्यूनच्या पलीकडचा ग्रह ११७
खुजे ग्रह ११९
आपले निकटतम शेजारी १२१
गुरूचे सहप्रवासी १२२
परक्या आकाशात १२३

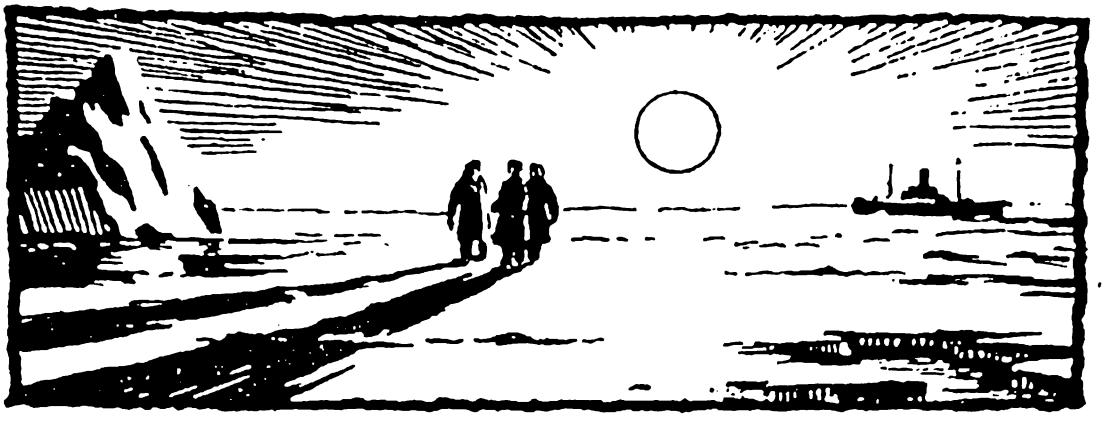
प्रकरण चौथे
तारका

तारे तारकाकृती कां? १३५
तारे लुकलुकतात तर ग्रह सतत चकाकतात, असे कां? १३६
दिवसा ताऱ्यांचे दर्शन होऊ शकेल का? १३८
ताऱ्यांची प्रत म्हणजे काय? १४०
तारकांचे बीजगणित १४१
डोळे आणि दुर्बीण १४५
सूर्यचंद्राच्या तारकात्मक प्रती १४६
तारे आणि सूर्य यांचे खरे तेजोमान १४८
ज्ञात ताऱ्यांपैकी तेजस्वीतम तारा १५०
आपल्या व इतरांच्या आकाशात दिसणाऱ्या ग्रहांच्या तारकात्मक प्रती १५०
दुर्बिणीत ताऱ्यांचें परिवर्धन कां होत नाही? १५२
ताऱ्यांचे आकार कसे मापण्यात आले १५५
ताऱ्यांच्या जगातील राक्षस १५७

अनपेक्षित उत्तर १५८
सर्वांत जड पदार्थ १५९
ताऱ्यांना स्थिरज्योती कां म्हणतात? १६४
ताऱ्यांच्या अंतरांची परिमाणे १६५
निकटतम तारका समूह १६९
विश्वाच्या पसाऱ्याचे प्रमाण १७१

प्रकरण पाचवे
गुरुत्वाकर्षण

वर उडवलेला गोळा १७३
उंचावरच्या स्थळी वजन १७६
कंपासच्या साहाय्याने ग्रहपथाचा शोध १७९
ग्रह सूर्यावर जाऊन पडले तर— १८३
व्हल्कनची भट्टी १८६
सूर्यकुलाच्या सीमा १८७
जूल व्हर्नच्या पुस्तकांतील चूक १८७
पृथ्वीचे वजन कसे केले? १८८
पृथ्वीच्या आतमध्ये काय आहे? १९१
सूर्य आणि चंद्र यांचे वजन १९१
ग्रहताऱ्यांची वजने आणि घनता १९४
चंद्र आणि ग्रह यांवर पदार्थांचे वजन १९५
वजनांचा उच्चांक १९६
ग्रहांच्या अंतर्भागांतील वजन १९७
आगबोटीचे कोडे १९८
चांद्र आणि सौर भरती २००
चंद्र आणि हवामान २०३



प्रकरण पहिले

पृथ्वी, तिचा आकार आणि गती

लघुतम अंतर : पृथ्वीवर आणि नकाशांवर

बाईंनी फळ्यावर खडूने दोन टिंबे काढली आणि या दोन टिंबांत सर्वात लहान अंतर दाखविणारी रेषा काढण्यास गोपूला सांगितले.

क्षणभर थांबून छोट्या गोपूने दोन टिंबांना जोडणारी एक रेषा मोठ्या काळजीपूर्वक काढली. ती रेषा होती वाकडी.

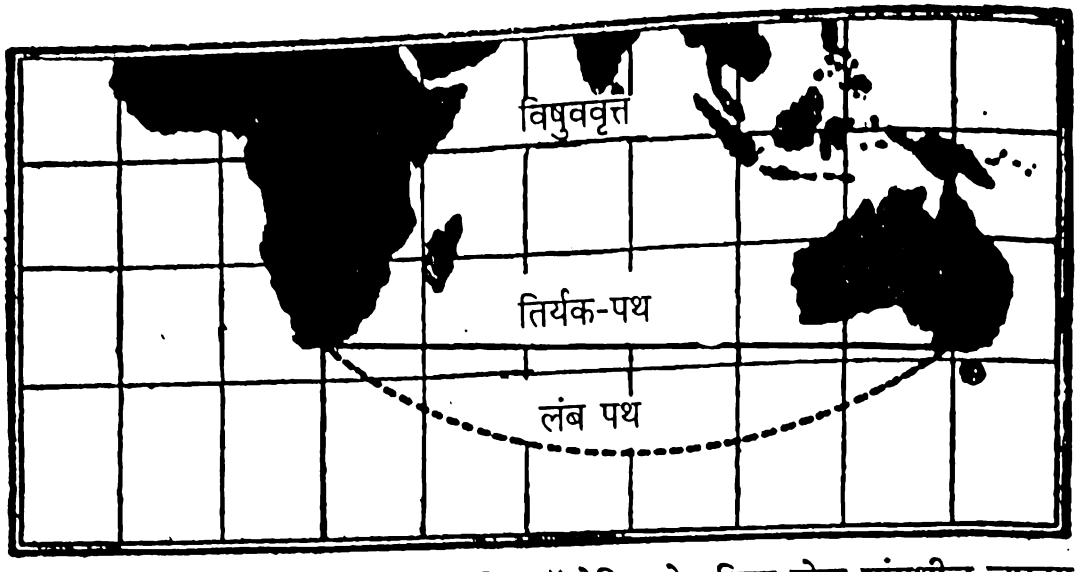
"हे काय सर्वात लहान अंतर झाले? कोणी शिकविले तुला हे?" बाईंनी चकित होऊन विचारले.

"माझ्या बाबांनी! ते टॅक्सी चालवितात." छोट्या गोपूचे उत्तर.

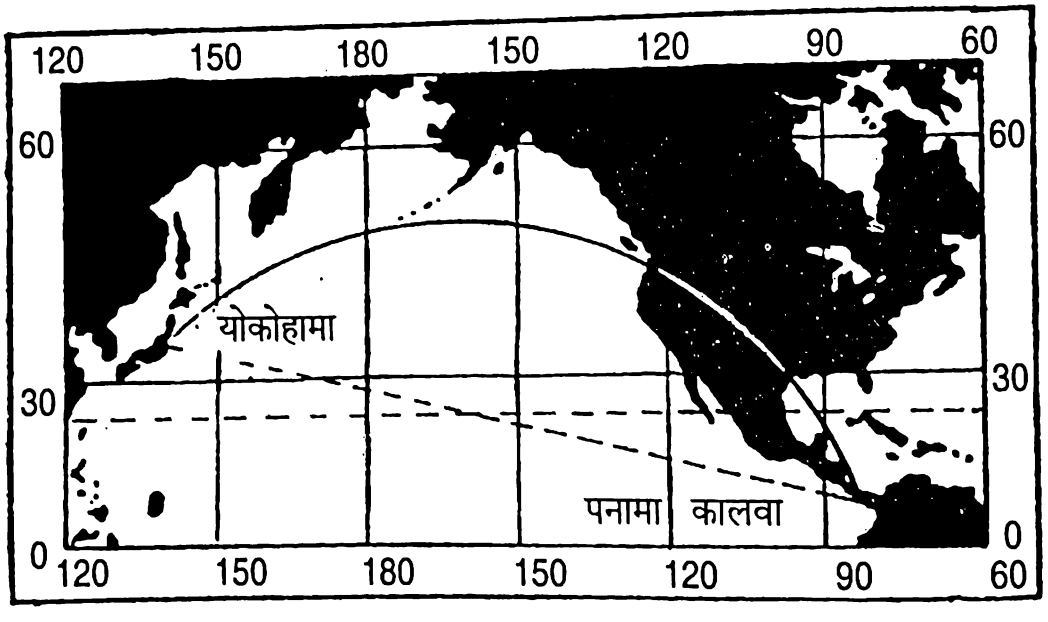
हा अर्थात विनोद झाला. पण आकृती १ मधील नकाशा पहा. त्या नकाशात केप ऑफ गुड होप आणि ऑस्ट्रेलियाचे दक्षिण टोक यांना जोडणारी एक बाकदार तुटक रेषा काढलेली आहे. ही बाकदार रेषा या दोन ठिकाणांमधील सर्वात लहान अंतर दाखविते असे जर तुम्हांला सांगितले, तर मला वाटते तुम्ही अविश्वासाने हसू लागाल! आकृती २ मधील नकाशा पहा. त्यात जपान व पनामा कालवा यांना जोडणाऱ्या दोन रेषा आहेत; एक सरळ, दुसरी बाकदार. बाकदार रेषेने दाखविलेला मार्ग सरळ रेषेपेक्षा कमी लांबीचा आहे हे ऐकल्यास तुम्हाला अधिकच नवल वाटेल!

हाही विनोद झाला असे तुम्ही कदाचित म्हणाल; पण तसे नाही. हे अगदी सत्य आहे आणि कोणताही नकाशातज्ज्ञ त्याची हमी देईल.

विषय स्पष्ट व्हावा म्हणून सर्वसाधारण नकाशाबद्दल आणि विशेषकरून नाविक-नकाशांबद्दल चार शब्द सांगावयास हवेत. पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या एखाद्या



आकृती १ : केप ऑफ गुड होप आणि ऑस्ट्रेलियाचे दक्षिण टोक यांमधील लघुतम मार्ग नाविक-नकाशात वक्र रेषेने ('लंब पथ') दाखवितात, सरळ रेषेने ('तिर्यक पथ') नव्हे.



आकृती २ : नाविक-नकाशात योकोहामा आणि पनामा कालवा यांना जोडणारी वक्ररेषा त्या दोहोंस जोडणाऱ्या सरळ रेषेहून लहान आहे, यावर प्रथम विश्वास बसत नाही.

भागाचे चित्र रेखाटणे सोपे नाही, कारण पृथ्वीचा आकार आहे चेंडूसारखा. एखादा गोल जर दाबून सपाट केला तर त्याला सुरकुत्या पडणार, काही ठिकाणी तो फाटणार हे अपरिहार्य असल्याचे सर्वांना माहीत आहे. तेव्हा

आपल्याला आवडो अगर नावडो, नकाशा काढताना अशा ज्या विकृती अपरिहार्यपणे उद्भवतात त्या चालवून घेणे भाग असते. नकाशे काढण्याच्या कित्येक पद्धती आहेत पण त्या सर्वांत काही ना काही दोष असतातच.

१६व्या शतकातील डच नकाशाकार आणि गणितज्ञ मर्केटर याच्या पद्धतीने आखलेले नकाशे नाविक लोक वापरतात. या पद्धतीला 'मर्केटर लंबाकृती' म्हणतात. आडव्या-उभ्या रेषांच्या जाळ्यांवरून नाविकाचा नकाशा सहज ओळखता येतो; त्यात अक्षांश व रेखांश काटकोन करणाऱ्या समांतर सरळ रेषांनी दाखविण्यात येतात. (आकृती ५ पहा).

आता समजा एकाच अक्षांशवृत्तावरच्या दोन बंदरांमधला सर्वात जवळचा मार्ग तुम्हाला हवा आहे. समुद्रात तुम्ही कोणत्याही दिशेने जहाज हाकारू शकता आणि योग्य पद्धत माहीत असल्यास सर्वात जवळचा मार्ग तुम्ही केव्हाही शोधून काढू शकाल. तुम्हाला स्वाभाविकपणे असे वाटेल की त्या दोन बंदरांच्या अक्षांशरेषेवरून, तुमच्या नकाशात दाखविलेल्या सरळ रेषेवरून गेल्यास अंतर सर्वात कमी असेल. अखेर सरळ रेषेपेक्षा कमी अंतर असूच कसे शकेल? पण ती तुमची चूक होईल, अक्षांशरेषेवरचा मार्ग सर्वात जवळचा नाही.

खरोखर, चेंडूच्या पृष्ठभागावरील दोन बिंदूंमधील लघुतम मार्ग म्हणजे, त्या दोहोंस जोडणारा विशाल वर्तुळाचा चाप.* अक्षांशवृत्त हे एक लघुवर्तुळ आहे. ह्या दोन बिंदूंमधून जाणाऱ्या विशाल वर्तुळाचा चाप त्यांतून जाणाऱ्या कोणत्याही लघुवर्तुळाच्या चापापेक्षा कमी वक्राकार असतो, कारण त्रिज्या जेवढी मोठी तेवढा बाक कमी. एक दोरा घ्या आणि पृथ्वीच्या गोळ्यावर आपण निवडलेल्या दोन बिंदूंमध्ये तो ताणून धरा. तुम्हाला असे आढळून येईल की, तो अक्षांशरेषेवरून मुळीच जात नाही. आपल्या दोन बिंदूंमधील लघुतम मार्ग तो दाखवितो यात संशय नाही. पण जर तो गोळ्यावर अक्षांशावृत्तास अनुसरत नाही, तर सरळ रेषांनी अक्षांशवृत्ते दाखविणाऱ्या नाविक-नकाशावरही लघुतम मार्ग सरळ रेषेत असणार नाही. आणि त्या सरळ रेषांशी जी एकरूप होऊ शकत नाही ती वक्ररेषाच असली पाहिजे.

नाविक-नकाशात लघुतम मार्ग सरळ रेषेत नसून वक्ररेषाकार असतो, असे का, ते यावरून स्पष्ट होईल.

---

* गोलाच्या पृष्ठभागावरील विशाल वर्तुळ, म्हणजे गोलाचा मध्यबिंदू ज्याचा मध्यबिंदू आहे असे वर्तुळ. इतर सर्व वर्तुळांना लघुवर्तुळे म्हणतात.

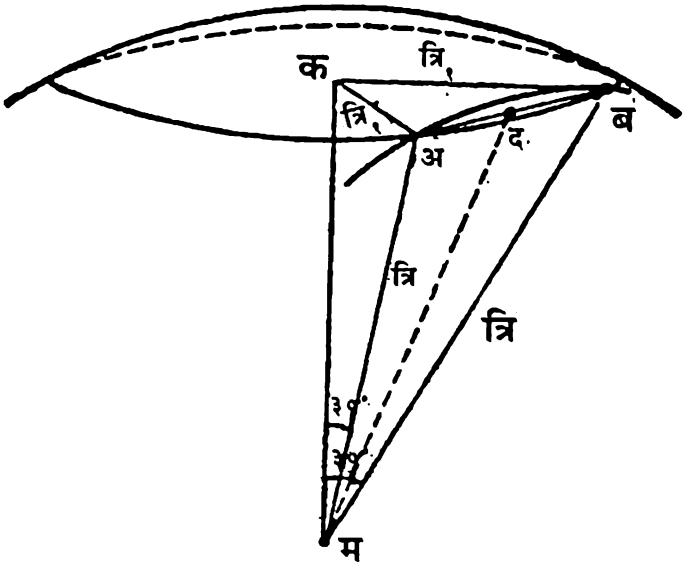
अशी गोष्ट सांगतात की पीटर्सबर्ग-मॉस्को रेल्वेसाठी मार्ग निवडताना जागेबाबत इंजिनियर्सचे एकमत होईना. झार निकोलस पहिला याने 'सरळ' पद्धतीने या प्रश्नाचा निकाल लावला. त्याने एक फूटपट्टी मागून घेतली आणि नकाशावर पीटर्सबर्ग आणि मॉस्को यांस जोडणारी एक सरळ रेषा आखून दिली. मर्केटर नकाशा हाताशी असता तर प्रश्न अधिकच अडचणीचा झाला असता. रेल्वेमार्ग सरळ न होता वाकडाच झाला असता.

आकृती ३ : दोन बिंदूंमधील लघुतम मार्ग शोधून काढण्याचा एक साधा उपाय. पृथ्वीच्या गोळ्यावर त्या दोन बिंदूंमध्ये एक दोरा ताणून धरणे.

मर्केटर नकाशावर जो मार्ग आपल्याला सरळ वाटतो; त्यापेक्षा त्यावरचा बाकदार मार्ग खरोखर कमी लांबीचा असतो. आकडेमोडीस न भिणाऱ्या कोणासही साधा हिशोब करून या गोष्टीची खात्री करून घेता येईल. कल्पना करा की, आपण उदाहरणादाखल घेतलेली दोन्ही बंदरे लेनिनग्राडच्या अक्षांशवृत्तावर म्हणजे ६०°व्या अक्षांशवृत्तावर आहेत आणि ह्या दोन बंदरांमधील अंतरदेखील ६०° अंश आहे.

आकृती ४ मध्ये **म** हा पृथ्वीचा मध्य आहे. **अ** आणि **ब** ही आपली दोन काल्पनिक बंदरे आहेत. अर्थात **अब** हा ६०व्या अक्षांशवृत्ताचा ६० अंशाचा चाप आहे. ह्या अक्षांशवृत्ताची त्रिज्या **त्रि**$_{१}$ आहे. **मक** ही पृथ्वीची अक्षरेषा असून

अक्षांशवृत्ताच्या पातळीला **क**मध्ये छेदते; अर्थात **क** हा अक्षांशवृत्ताचा मध्य आहे आणि **अक=बक=त्रि**$_{१}$



आकृती ४ : गोलावरील बिंदू अ आणि ब यांस जोडणारा अक्षवृत्ताचा चाप, तसेच त्यांना जोडणारा विशाल वर्तुळाचा चाप, दोहोंची लांबी कशी शोधून काढावी?

आता **म** हा मध्य घेऊन आणि पृथ्वीची त्रिज्या (**त्रि**) घेऊन आपण **अ** आणि **ब**मधून जाणाऱ्या विशाल वर्तुळाचा चाप काढला असे समजा. मग **अम=बम=त्रि.**

अ आणि **ब** यांतून जाणारे दोन चाप झाले. एक अक्षांशवृत्ताचा चाप आणि दुसरा विशाल वर्तुळाचा चाप. प्रत्येकाची लांबी किती हे आता आपण पाहू.

अ आणि **ब** हे ६०° वृत्तावर आहेत आणि **मक** ही पृथ्वी गोलाची अक्षरेषा आहे त्या अर्थी ∠ **कमअ=** ∠ **कमब=**३०°. △ **कमअ** आणि △ **कमब** हे दोन्ही काटकोन त्रिकोण आहेत. **कमअ** ह्या काटकोन त्रिकोणात **अक** ही बाजू ३०° कोनाच्या समोर आहे, म्हणून तिची लांबी त्या त्रिकोणाचा कर्ण **अम** याच्या निम्मी असली पाहिजे. तेव्हा

$$\text{अक}=\text{त्रि}_{१} = \frac{\text{अम}}{२} \quad \frac{\text{त्रि}}{२}$$

अब हा अक्षांशवृत्तीय चाप ६० अंशाचा असल्यामुळे त्याची लांबी एकूण वृत्ताच्या $\frac{१}{६}$ आहे. परंतु वर सिद्ध केल्याप्रमाणे ह्या वृत्ताची त्रिज्या (**त्रि**$_{१}$) विशाल

वर्तुळाच्या (म्हणजे पृथ्वीच्या) त्रिज्येच्या (**त्रि**) निम्मी आहे आणि म्हणून एकूण वृत्ताची लांबीदेखील विशाल वर्तुळाच्या लांबीच्या $\frac{१}{२}$ आहे. विशाल वर्तुळाची लांबी ४०,००० किलोमीटर असल्याचे आपल्याला माहीत आहे. यामुळे अक्षांशवृत्ताची लांबी २०,००० किलोमीटर असली पाहिजे. त्याअर्थी,

अक्षांशवृत्त चाप **अब** = $\frac{१}{६}$ x अक्षांशवृत्त = $\frac{१}{६}$ x २०,००० = ३,३३३ कि.मी.

आता विशाल वर्तुळ चाप **अब**ची लांबी आपण काढू. त्यासाठी **अमब** हा कोन किती अंशाचा आहे हे शोधून काढले पाहिजे.

सरळ रेषा **अब** ही अक्षवृत्ताची त्रिज्या आहे आणि **अकब** हा कोन ६०० आहे. यामुळे त्रिज्या **अब** ही त्या वृत्तांतील समभूज षटकोनाची एक बाजू आहे व म्हणून

$$\text{अब} = \text{त्रि}_{१} = \frac{\text{त्रि}}{२}$$

अबचा मध्यबिंदू **द** आणि **म** यांना जोडणारी **मद** रेषा काढा. **अ** व **ब** यामधून जाणाऱ्या विशाल वर्तुळाचा **म** हा मध्यबिंदू आणि **द** हा ज्या **अब**चा मध्यबिंदू, त्या अर्थी कोन **मदअ** हा काटकोन आहे आणि △ **मदअ** हा काटकोन त्रिकोण झाला.

$$\text{दअ} = \frac{१}{२}\ \text{अब} = \frac{\text{त्रि}_{१}}{२} = \frac{\text{त्रि}}{४}$$

आणि **मअ** = **त्रि**

त्याअर्थी ∠ **अमद**ची एक त्रिज्या = $\frac{\text{अद}}{\text{अम}} = \frac{\text{त्रि}/४}{\text{त्रि}} = \frac{१}{४}$ किंवा ०.२५

म्हणून (कोष्टकावरून) ∠ **अमद** = १४° २८' ३०".

आणि ∠ **अमद** = २ ∠ **अमद** = २८°५७'

पृथ्वीच्या विशाल वर्तुळाच्या १' चापाची लांबी १ नाविक मैल किंवा १.८५ किलोमीटर आहे. २८°५७' = १७३७', त्याअर्थी २८°५७'चा चाप **अब** = ३२१३ किलोमीटर.

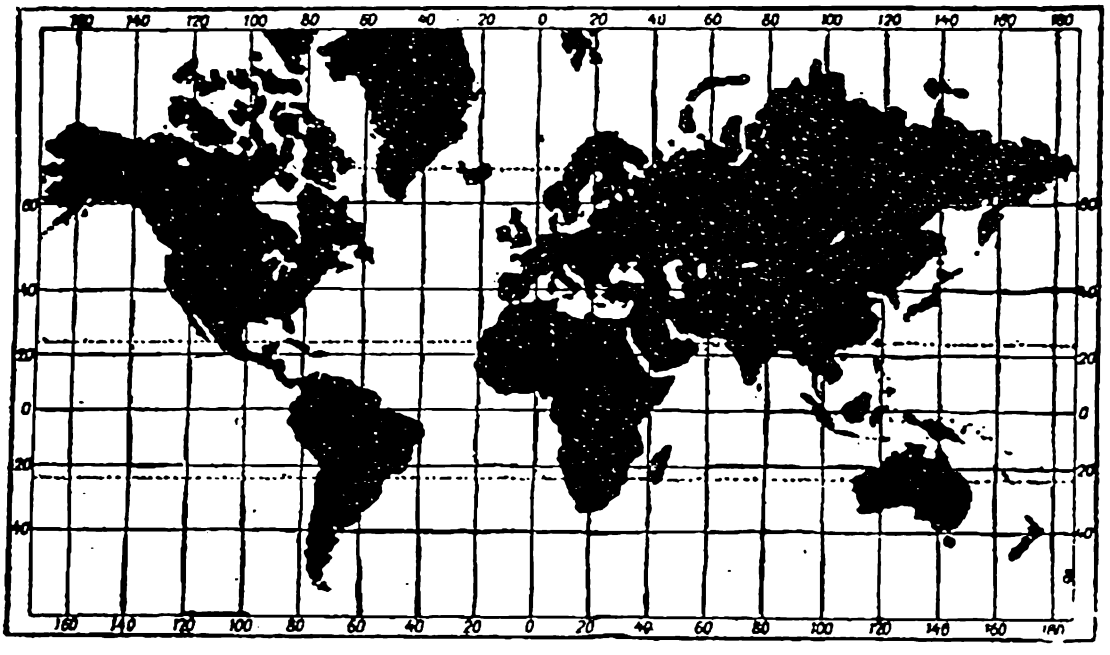
म्हणजे नाविक-नकाशात सरळ रेषेने दाखविलेल्या अक्षांशवृत्ताचा मार्ग घेतल्यास अंतर ३३३३ किलोमीटर होते, उलट विशाल वर्तुळाचा मार्ग घेतल्यास अंतर ३२१३ किलोमीटर म्हणजे १२० किलोमीटर कमी होते.

शाळेत असतो तसा पृथ्वीचा गोळा आणि एक दोरा एवढे साहित्य घेऊन आमच्या आकृतीची सत्यता तुम्हाला सहज पारखून घेता येईल आणि विशाल

वर्तुळाचे चाप खरोखर आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे असतात, याची खात्री करून घेता येईल.

आकृती १ मध्ये आफ्रिकेपासून ऑस्ट्रेलियापर्यंतच्या नकाशात 'सरळ' भासणारा जो सागरी मार्ग आहे त्याची लांबी ६०२० मैल आहे, तर 'वाकडा' दिसणारा मार्ग फक्त ५४५० मैल म्हणजे ५७० मैल कमी आहे.

नाविक-नकाशात लंडन आणि शांघाय यांना जोडणारी 'सरळ' हवाई रेषा कास्पियन समुद्र भेदून जाईल, परंतु दोहोंतील लघुतम अंतर दाखविणारी रेषा लेनिनग्राडच्या उत्तरेवरून जाईल. वेळ आणि इंधन यांची बचत करण्याच्या दृष्टीने ही गोष्ट महत्त्वाची आहे हे आपण सहज समजू शकतो.



आकृती ५ : जगाचा नाविक किंवा मर्केटर नकाशा. विषुववृत्तापासून दूर असलेल्या प्रदेशाच्या रूपरेषा या नकाशात पुष्कळच वाढवून दाखविल्या जातात. अधिक विस्तार कोणाचा? ग्रीनलंडचा की ऑस्ट्रेलियाचा? (उत्तरासाठी पाठ पाहा.)

वाऱ्यावर चालणाऱ्या शिडाच्या जहाजाच्या काळात वेळ ही फारशी मोलाची चीज नव्हती. त्या काळात माणसे वेळ म्हणजे पैसा असे मानीत नसत. पण आगबोटींचा उदय झाल्यानंतर प्रत्येक टन जादा कोळसा म्हणजे पैसा झाला. यामुळे बोटी लघुतम मार्ग स्वीकारतात; त्या मर्केटर लंबाकृतीच्या नकाशावर अवलंबून नसतात तर 'मध्यवर्ती' लंबाकृतीच्या नकाशांचा मुख्यत: उपयोग

करतात. या प्रकारच्या नकाशात विशाल वर्तुळाचे चाप सरळ रेषांच्या रूपात दाखविलेले असतात.

मग जुन्या काळचे नाविक असले फसवे नकाशे वापरीत आणि असे गैरसोयीचे मार्ग घेत, असे का? जुन्या नाविकांना वर सांगितलेले नाविक-नकाशे विशेष माहीत नव्हते असा तुमचा समज झाला असेल तर तो चूक आहे. ते अर्थात खरे कारण नव्हे. मुद्दा हा आहे की मर्केटर लंबाकृतीच्या नकाशात काही गैरसोयी असल्या तरी खलाशांच्या दृष्टीने मोलाच्या अशा कित्येक गोष्टी त्यात आहेत. एकतर भूगोलाचे छोटे छोटे वेगळे भाग घेतल्यास, त्या भागांची अविकृत रूपरेखा ह्या नकाशात असते. विषुववृत्तापासून एखादा भूभाग जेवढा अधिक अंतरावर, तेवढ्या त्याच्या आकाररेखा मर्केटर नकाशात अधिक लांबट होतात, हे खरे असले तरी हा मुद्दा चुकत नाही. विशेषतः उच्च अक्षांशवृत्तांत ही विकृती एवढी मोठी असते की ज्याला नाविक-नकाशाचा हा विशेष माहीत नाही त्याला असे वाटेल की, ग्रीनलँड आफ्रिकेएवढे आहे किंवा अलास्का ऑस्ट्रेलियाहून मोठे आहे. वस्तुतः ग्रीनलँड विस्ताराने आफ्रिकेच्या १५व्या हिश्शाएवढे आहे आणि अलास्का व ग्रीनलँड दोन्ही मिळून ऑस्ट्रेलियाच्या निम्म्याएवढीही नाहीत. अशा माणसाच्या निरनिराळ्या खंडांच्या विस्ताराबद्दल अगदी चुकीच्या कल्पना होतील. पण **ज्याला मर्केटर नकाशाची ही लक्षणे माहीत आहेत त्या दर्यावर्द्याला त्याचा त्रास होणार नाही, कारण नकाशाचे छोटे छोटे भाग घेतल्यास त्या नकाशातून त्याला बरोबर चित्र मिळते.**

शिवाय नौकानयनाचे व्यावहारिक प्रश्न सोडविताना मर्केटर नकाशाचा विशेष फायदा होतो. ज्यावर जहाजाचा खरा सरळ सरळ मार्ग रेषेनेच दाखविला आहे असा एकमेव नकाशा त्याच्यापरीने तोच आहे. सतत स्थिर मार्गाने नाव हाकारायची म्हणजे ती सतत एकाच दिशेने; एकाच दिशाकोनदर्शक रेषेवरून न्यावी लागते, किंवा दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे तर सर्व याम्योत्तर रेषा जहाजाने एक कोन करून ओलांडल्या पाहिजेत. अशा मार्गाला 'तिर्यक पथ' म्हणतात, पण तो सरळ रेषेत दाखवायचा तर अशाच नकाशात दाखविता येईल की ज्यात याम्योत्तर रेषा सरळ समांतर रेषांनी दाखविलेल्या असतील. पृथ्वीवर ह्या याम्योत्तरवृत्तांना किंवा रेखांशवृत्तांना अक्षांशवृत्ते काटकोनात छेदतात, तेव्हा नकाशात रेखावृत्ते सरळ समांतर रेषेत असल्यास अक्षांशवृत्तेदेखील त्या नकाशात त्यांच्याशी काटकोन करणाऱ्या सरळ रेषांत असली पाहिजेत. सारांश, या पद्धतीने नाविक-नकाशाचा विशेष असणारे वृत्तनिर्णायक रेषांचे जाळे आपणास मिळते.

नाविकांना मर्केटर लंबाकृतीचे एवढे आकर्षण कां वाटते हे आता तुमच्या लक्षात येईल. जिथे जावयाचे त्या बंदराच्या मार्गाची दिशा घालून देताना कप्तान प्रयाणबिंदू आणि लक्ष्यबिंदू दोहोंना जोडणारी रेषा काढतो आणि ती रेषा व रेखावृत्त यांमधील कोन मोजून घेतो. समुद्रात जहाजाची दिशा नेमकी ती ठेवली म्हणजे झाले, जहाज त्या बंदरी अचूक नेता येईल. यावरून दिसेल की **तिर्यक पथ हा लघुतम मार्ग नसला किंवा सर्वात कमी खर्चाचा मार्ग नसला तरी बऱ्याच अंशी तो दर्यावर्दी लोकांच्या दृष्टीने फार सोयीचा मार्ग आहे.** समजा, केप ऑफ गुडहोपपासून ऑस्ट्रेलियाच्या दक्षिण टोकाला (आकृती १) जावयाचे आहे. तर वरील पद्धतीनुसार दक्षिण ८७° ५०' या दिशारेषेने सतत जात राहिले पाहिजे. पण लघुतम अंतराने तेथे जावयाचे असेल (तशा मार्गास 'लंब पथ' म्हणतात) तर आकृतीत दिसते त्याप्रमाणे दिशा सतत बदलावी लागेल; सुरुवातीस दक्षिण ४२° ५०' या रेषेने जाऊन अखेरच्या टप्प्यात उत्तर ५३° ५०' या रेषेत जावे लागेल. (अर्थात तसे करणे अशक्यच आहे, कारण ह्या लघुतम मार्गाने जाताना वाटेत अंटार्क्टिकची हिमराजी आडवी येईल.) केवळ विषुववृत्तावरून किंवा कोणत्याही याम्योत्तर रेखावृत्तावरून जाताना तिर्यक पथ आणि लंब पथ एकरूप होतात. कारण आपण पृथ्वीच्या विशाल वर्तुळावरच्याच बिंदूमध्ये प्रवास करीत असतो आणि नाविक-नकाशावर ही वृत्ते सरळ रेषा म्हणूनच दाखविलेली असतात. एरवी सर्व बाबतीत हे दोन पथ भिन्न असतात.

रेखांश आणि अक्षांश

भौगोलिक अक्षांश-रेखांशांशी वाचक परिचित आहेत, असे मी गृहीत धरतो. पण तरीसुद्धा खालील प्रश्नाचे बिनचूक उत्तर सर्वांनाच देता येईल की नाही याची मला शंका आहे.

प्रश्न : एक अक्षांश अंतर एक रेखांश अंतराहून नेहमीच मोठे असते का?

उत्तर : अक्षांशवृत्त हे रेखांशवृत्ताहून लहान असते याबद्दल बहुतेक सर्वांची खात्री असते आणि रेखांश हे अक्षवृत्तावर मापण्यात येतात तर अक्षांश रेखावृत्तावर मापण्यात येतात, त्यामुळे अनुमान असे निघते की रेखांश हे अक्षांशाहून कधीच मोठे असू शकणार नाहीत. पण हे विधान करताना आपण विसरतो की पृथ्वी ही पूर्णत: वाटोळी नाही, तर विषुववृत्तावर किंचित फुगलेली अशी लंबगोलाकार आहे. त्या लंबगोलावर विषुववृत्तच नव्हे तर त्याच्या अगदी जवळची अक्षवृत्तेदेखील

रेखावृत्तांहून लांब आहेत. त्यामुळे गणित केल्यास साधारण ५° अक्षांशापर्यंत रेखांश हे अक्षांशाहून मोठेच असतात!

आमंदसेन कोणत्या दिशेने गेला?

प्रश्न : उत्तर ध्रुवावरून परत येताना तसेच दक्षिण ध्रुवावरून परत येताना आमंदसेन कोणत्या दिशेला गेला?

ह्या महान संशोधकाच्या रोजनिशीत न पहाता उत्तर द्या!

उत्तर : उत्तर ध्रुव हा पृथ्वीगोलाचा सर्वात उत्तरेचा बिंदू आहे. तेथून कसेही आपण निघालो तरी दक्षिणेलाच जाणार. उत्तर ध्रुवावरून परतताना आमंदसेन दक्षिणेकडेच जाऊ शकत होता, कारण तेथे दुसरी दिशाच संभवत नाही. नोर्ज नामक विमानातून उत्तर ध्रुवावरून उड्डाण करतेवेळी त्याच्या रोजनिशीत केलेली नोंद पुढीलप्रमाणे आहे :

"नोर्जने उत्तरध्रुवाशेजारी घिरट्या घातल्या. नंतर आमचे हवाई उड्डाण आम्ही चालू ठेवले. विमान रोमहून निघाल्यापासून प्रथमच आम्ही दक्षिणेचा मार्ग घेतला."

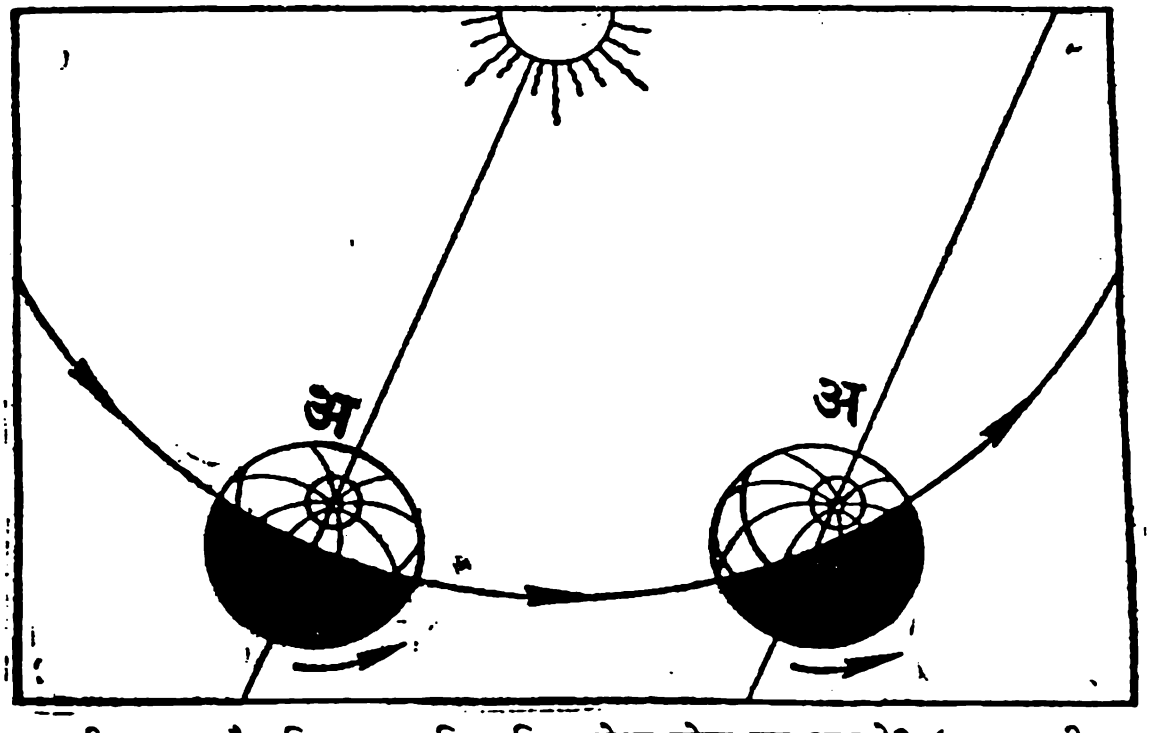
त्याच प्रकारे दक्षिण ध्रुवावरून परतताना आमंदसेन केवळ उत्तरेकडेच जाऊ शकत होता. एका तुर्की माणसाबद्दल एक जुना चुटका आहे. तो म्हणे एकदा सर्वात पूर्वेकडच्या देशांत पोहोचला. "पुढे पूर्व, उजवीकडे पूर्व, डावीकडे पूर्व आणि पश्चिमेचे काय? दूर अंतरावरचा अगदी बारीकसा ठिपका म्हणून तरी ती दिशा त्याला दिसली का? छे! मागेही पूर्वच. म्हणजे काय, सगळीकडे सभोवताली पूर्वच पूर्व, तिला अंतच नाही!" सर्व बाजूला पूर्व दिशा असणारा देश आपल्या पृथ्वीवर असूच शकत नाही. पण सगळीकडे दक्षिण असणारा बिंदू पृथ्वीवर आहे आणि चहूकडे 'अंतच नाही' अशा उत्तर दिशेने वेढलेला बिंदूही आहे. चारही भिंती दक्षिण दिशेकडे आहेत असे घर उत्तर ध्रुवावर बांधता येईल. उत्तर ध्रुवावर गेलेल्या सोविएत संशोधकांना हे विलक्षण काम खरोखरच करता आले असते!

कालमापनाच्या पाच तऱ्हा

घड्याळांची आता आपणाला एवढी सवय झाली आहे की त्याच्या खुणांचा पूर्ण अर्थदेखील आपल्या लक्षात येत नाही. 'आता संध्याकाळचे ७ वाजले

आहेत' असे आपण म्हणतो, तेव्हा त्याचा अर्थ नेमका काय होतो हे बऱ्याच वाचकांना सांगता येणार नाही, असे म्हटल्यास ते चुकीचे होणार नाही असे मला वाटते.

लहान काटा ७ हा आकडा दाखवितो एवढाच त्याचा अर्थ आहे का? आणि ह्या आकड्यांचा तरी अर्थ काय? मध्यान्ह होऊन दिवसाचा एवढा भाग गेला हे त्यावरून कळते. पण मग प्रश्न येतो, **कोणत्या** मध्यान्हानंतर? आणि त्याच्याही अगोदर **कोणत्या** दिवसाचा भाग? दिवस म्हणजे काय? सूर्याच्या दृष्टीने पृथ्वीचा स्वत:भोवती एक फेरा (परिवलन) झाला म्हणजे तेवढ्या काळाला सामान्यत: आपण दिवस म्हणतो. व्यवहारात तो पुढीलप्रमाणे मोजतात. आकाशातला आपल्या डोक्यावरचा बिंदू, म्हणजे 'ख-स्वस्तिक' आणि क्षितिजावरील दक्षिण दिशेचा बिंदू यांना जोडणाऱ्या काल्पनिक रेषेस 'मध्यान्ह वृत्त' म्हणतात. प्रत्येक दिवशी सूर्य हे मध्यान्ह वृत्त ओलांडतो. हे मध्यान्ह वृत्त लागोपाठ दोन वेळा सूर्य—अचूक सांगायचे म्हणजे सूर्याचा मध्यबिंदू—छेदून जातो, त्या दोहोंमधील काल म्हणजे आपला दिवस. पण हा काळ बदलत जातो, सूर्य कधी ही रेषा उशिरा छेदतो, तर कधी लवकर. ह्या 'स्पष्ट' मध्यान्हावरून घड्याळ लावणे अशक्य आहे. अत्यंत कुशल अशा कारागिरालासुद्धा सूर्याबरोबर चालणारे घड्याळ तयार करता येणार नाही; ते अतिशयच चूक असेल. शंभर वर्षांपूर्वी पॅरिसच्या घड्याळजींचे ब्रीदवाक्य होते, "सूर्यच चुकीची वेळ दाखवितो!"



आकृती ६ : सौर दिवस नाक्षत्रिक दिवसापेक्षा मोठा का असतो? (उत्तरासाठी पाठ पहा.)

आपली घड्याळे खऱ्या सूर्याला अनुसरून वेळ दाखवीत नाहीत, ती एका काल्पनिक सूर्याला जोडलेली असतात. हा काल्पनिक सूर्य अर्थात प्रकाश वा उष्णता देत नाही, अचूक कालगणना करण्याच्या एकमेव उद्देशाने त्याची योजना केलेली आहे. खऱ्या सूर्याला पृथ्वीप्रदक्षिणा करायला जेवढा वेळ लागतो असे भासते, तेवढ्याच वेळात पण वर्षभर एकाच स्थिरगतीने ती प्रदक्षिणा करणारा एक आकाशस्थ गोल आहे अशी कल्पना करा. ह्या काल्पनिक गोलास ज्योतिःशास्त्रांत 'मध्यम सूर्य' म्हणतात. तो मध्यान्ह वृत्त ओलांडतो त्या क्षणास 'मध्यम मध्यान्ह' म्हणतात. दोन 'मध्यम मध्यान्हां'तील काळास 'मध्यम सौर दिवस' म्हणतात आणि अशा पद्धतीने ज्याची गणना होते तो काल म्हणजे **'मध्यम सौर काल.'** आपली घड्याळे हा मध्यम सौर काल दाखवितात. छायायंत्र मात्र सूर्याच्या छायेवरून ज्या त्या ठिकाणचा सत्य सौर काल दाखविते.

या विवेचनावरून वाचकाला कदाचित असे वाटेल की पृथ्वीचे अक्षभ्रमण स्थिर गतीने होत नसावे आणि म्हणून खऱ्या सौर दिवसाची लांबी कमी-अधिक होत असावी. परंतु तसे नाही. दिवसात हा जो फरक पडतो त्याचे कारण पृथ्वीच्या सूर्यप्रदक्षिणा गतीमधील एका अनियमिततेत आहे. जरा थांबा म्हणजे याचा दिवसाच्या लांबीवर काय परिणाम होतो ते कळेल. आकृती ६ पहा. त्यात दोन ठिकाणी पृथ्वी दाखविली आहे. प्रथम डावीकडचे स्थान घ्या. तळाचा बाण पृथ्वीच्या अक्षभ्रमणाची दिशा दाखवितो; उत्तर ध्रुवावरून पाहत असल्यास ही दिशा वामावर्त (घड्याळाचे काटे फिरतात त्याच्या उलट) आहे. या पहिल्या स्थानी 'अ' ह्या बिंदूवर मध्यान्ह आहे व तेथे सूर्य सरळ डोक्यावर आहे. आता समजा पृथ्वीने स्वतःभोवती एक परिवलन पूर्ण केले आणि तेवढ्यात परिभ्रमणगतीमुळे ती चित्रातल्या दुसऱ्या स्थानी आली. 'अ'च्या दृष्टीने पृथ्वीची त्रिज्या पूर्वी होती तीच आहे. पण आता 'अ' सूर्याच्या बरोबर समोर नाही. 'अ'वर कोणाच्याही दृष्टीने मध्यान्ह नाही. सूर्य आता 'अ'वरील लंब रेषेच्या डावीकडे आहे व म्हणून पृथ्वी आणखी काही मिनिटे फिरेल तेव्हाच 'अ'वर मध्यान्ह होईल.

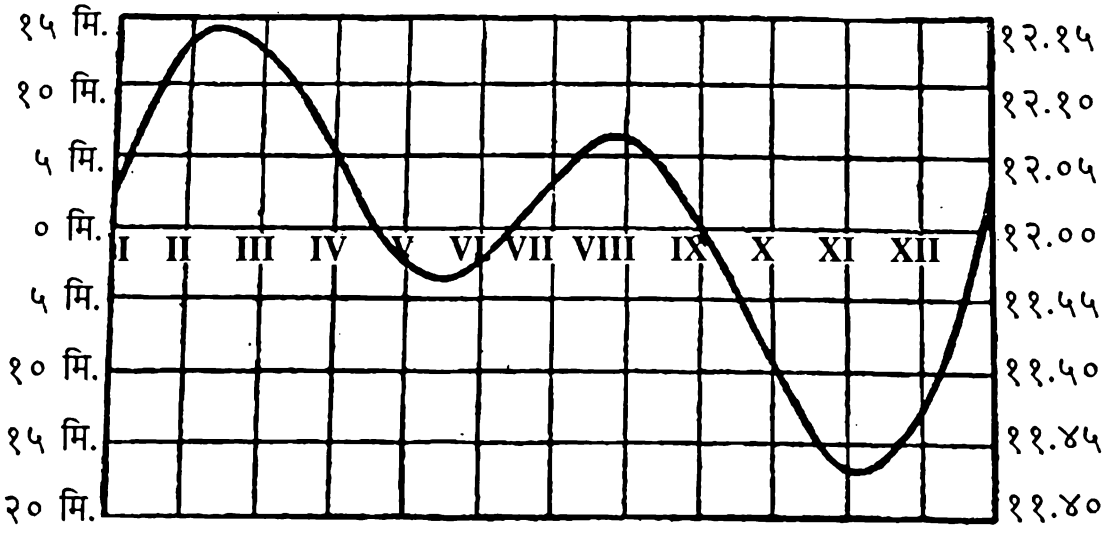
याचा अर्थ काय? अर्थ हा की पृथ्वीचे एक परिवलन पूर्ण होण्याच्या काळापेक्षा दोन स्पष्ट सौर मध्यान्हामधील काळ थोडा जास्त असतो. जर पृथ्वी सूर्याभोवती **वर्तुळाकार कक्षेत** स्थिर गतीने फिरत असती तर दोहोंतील फरक नेहमी एकच राहिला असता. ह्या सूक्ष्म फरकांची बेरीज एका वर्षात एका दिवसाएवढी होते. (म्हणजे कक्षाभ्रमण पूर्ण करण्याच्या क्रमात पृथ्वीचे एक परिवलन अधिक होते, ३६५ $\frac{१}{४}$ ऐवजी ३६६ $\frac{१}{४}$ परिवलने होतात.) हे लक्षात

घेतल्यास ही गोष्ट अधिक स्पष्ट होईल. यामुळे प्रत्येक परिवलनाचा खरा काळ पुढीलप्रमाणे ठरतो :

$३६५\frac{१}{४}$ दिवस : $३६६\frac{१}{४}$ = २ तास ५६ मि. व ४ सेकंद.

हा 'खरा' दिवस म्हणजे कोणत्याही **नक्षत्राच्या** दृष्टीने पृथ्वीचा स्व-प्रदक्षिणा काळ. म्हणून त्याला **'नाक्षत्रिक दिवस'** म्हणतात.

म्हणजे नाक्षत्रिक दिवस हा **सरासरी मानाने** सौर दिवसांपेक्षा ४ मिनिटे किंवा जास्त अचूक सांगायचे तर ३ मिनिटे ५६ सेकंद लहान असतो. सरासरी म्हणण्याचे कारण हा फरक वर्षभर सारखाच नसतो. कारण एकतर पृथ्वीची कक्षा विवृत्ताकार आहे, वर्तुळाकार नाही व त्यामुळे कधी पृथ्वी सूर्याच्या अधिक जवळ असते व तेव्हा ती जास्त जलद जाते, तर कधी ती सूर्यापासून अधिक लांब असते व तेव्हा तिचा वेग कमी होतो. दुसरे म्हणजे पृथ्वीच्या परिवलानाचा अक्ष क्रांतिवृत्ताकडे कललेला आहे. या दोन कारणांमुळे खरा सौर काल आणि मध्यम सौर काल या दोहोंतला फरक निरनिराळ्या तारखांना वेगवेगळा असतो आणि काही तारखांना तर तो १६ मिनिटांएवढा होतो. १५ एप्रिल, १४ जून, १ सप्टेंबर आणि २४ डिसेंबर या चार दिवशी मात्र दोन्ही काळ समान असतात, उलट ११ फेब्रुवारी आणि २ नोव्हेंबर या दोन दिवशी फरक सर्वात मोठा म्हणजे साधारण १५ मिनिटांएवढा असतो. आकृती ७ मधील वक्ररेषा, वर्षामधील निरनिराळ्या काळी हा फरक किती असतो हे दाखविते.



आकृती ७ : या आलेखास 'काळ समीकरणाचा तक्ता' म्हणतात. स्पष्ट सौर मध्यान्ह आणि मध्यम सौर मध्यान्ह यांमधील फरक कोणत्या दिवशी किती असेल हे त्यावरून कळते. उदाहरणार्थ, १ एप्रिल रोजी स्पष्ट मध्यान्ह होत असेल तेव्हा अचूक घड्याळ १२ वाजून ५ मिनिटे झाल्याचे दाखवील.

सारांश, वरील आलेखामधील वक्ररेषा स्पष्ट मध्यान्ह वेळचा मध्यम काळ दाखविते. (रोमन अक्षरांतील आकडे इंग्रजी महिन्यांचे आहेत.)

एका रेखावृत्तावरील सर्व स्थानांवर मध्यान्ह एकाच वेळी होतो. दोन स्थलांमध्ये रेखांशाचे अंतर १ अंश असेल तर मध्यान्हांत ४ मिनिटांचा फरक पडतो. यामुळे प्रत्येक शहराची स्वत:ची वेगळी स्थानिक वेळ असते. हे अर्थात गैरसोयीचे होईल. रेल्वेला किंवा विमानवाहतुकीला एकच वेळापत्रक हवे. यामुळे वेळमापनाची विभागीय पद्धत अवलंबिण्यात येते. पृथ्वीचे १५ रेखांशाचे २४ सारखे विभाग पडतात. ह्या विभागांतील मधले रेखावृत्त घेऊन तेथली वेळ ही विभागीय वेळ धरतात व तीच सर्व विभागाची प्रमाण वेळ समजतात. भारतात ८२$\frac{१}{२}$अंशाचे रेखावृत्त प्रमाण धरून तेथली वेळ प्रमाण वेळ (स्टँडर्ड टाईम) म्हणून देशात सर्वत्र लागू केली जाते. वस्तुत: मुंबई आणि कलकत्ता यांत १६ रेखांशांचा फरक असल्यामुळे दोहोंच्या स्थानिक वेळांत ६४ मिनिटांचा फरक आहे. पण दोन्ही ठिकाणी आपण ही **प्रमाण वेळ** वापरतो.

सोविएत युनियनमध्येही विभागीय कालमापनानुसार वेळ मोजतात. सोविएत रेल्वेची वेळापत्रके मॉस्कोच्या वेळापत्रकावर आधारलेली आहेत.

वेळ मोजण्याच्या ह्या तीन पद्धती झाल्या : १) खरा सौर काल २) स्थानिक मध्यम सौर काल आणि ३) विभागीय काल. याखेरीज जोति:शास्त्रज्ञ एक चौथी पद्धत—'नाक्षत्रिक पद्धत'—वापरतात. ती वर सांगितलेल्या नाक्षत्रिक दिवसावर आधारलेली आहे. वर म्हटल्याप्रमाणे हा नाक्षत्रिक दिवस मध्यम सौर दिवसापेक्षा साधारण ४ मिनिटे लहान आहे. २२ सप्टेंबर रोजी नाक्षत्रिक आणि सौर काल सारखेच असतात. त्यानंतर नाक्षत्रिक काल दररोज ४ मिनिटे पुढे जातो.

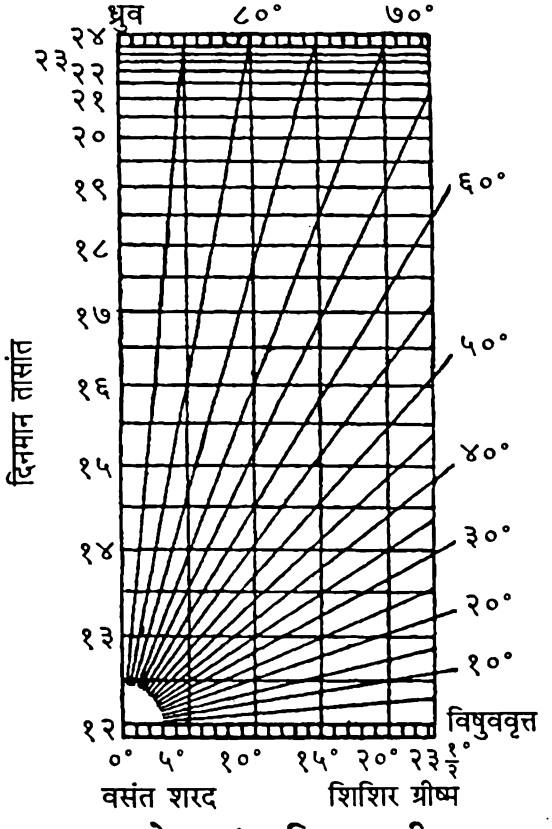
याखेरीज कालमापनाची एक पाचवी पद्धत आहे. ती म्हणजे **'ग्रीष्म काल'**. ही पद्धत युरोपमध्ये उन्हाळ्यात वापतात आणि सोविएत युनियनमध्ये वर्षभर वापरतात. या पद्धतीत **'ग्रीष्म काल'** विभागीयकालाच्या बरोबर १ तास पुढे ठेवतात. वसंत आणि शरद या दोन ऋतूंच्या दरम्यानच्या काळात दिवसा अधिक उजेड असतो. त्या काळात कामाचा दिवस लवकर सुरू करावा आणि संपवावा व अशा तऱ्हेने कृत्रिम प्रकाशावर खर्च होणारे जळण वाचवावे हा या पद्धतीचा हेतू होय. तासाचा काटा सरकारी हुकुमान्वये पुढे सरकवून हे करण्यात येते. पाश्चात्य देशात ही गोष्ट वसंत ऋतूत करतात, त्या वेळी एक वाजता हा काटा दोनवर नेतात आणि शरद ऋतूत तो पुन्हा मागे आणतात. सोविएत

युनियनमध्ये उन्हाळ्या-हिवाळ्याच्या वार्षिक क्रमात घड्याळाचे काटे सरकविण्यात येतात; त्यामुळे विजेची बचत होत नाही पण विजेचे कारखाने नियमित चालविण्यात मदत होते.

उन्हाळी वेळ सोविएत युनियनमध्ये १९१७ पासून सुरू झाली.* प्रथम घड्याळे दोन किंवा तीन तासदेखील पुढे ठेवीत. त्यात काही खंड पडल्यानंतर पुन्हा १९३० पासून ती पद्धत सुरू झाली आणि आता उन्हाळा वेळ विभागीय वेळेच्या १ तास पुढे असते.

दिनमान

जगातील कोणत्याही स्थळी व कोणत्याही दिवशी सूर्यप्रकाश किती वेळ असेल ह्याची अचूक माहिती हवी असल्यास पंचांग पहावयास हवे. परंतु वाचकाला एवढ्या काटेकोर माहितीची गरज बहुधा नसेल. साधारण माहितीसाठी सोबतचा आलेख (आकृती ८) पुरे आहे. त्याच्या डाव्या बाजूला दिनमान किती



आकृती ८ : दिनमानाचा आलेख. (तपशिलासाठी पाठ पहा.)

तास असेल त्याचे आकडे दिले आहेत. तळाचे आकडे सूर्याचे आकाशीय

---

* ह्या पुस्तकाच्या लेखकाने त्यात पुढाकार घेतला होता व त्या संबंधीचे विधेयकदेखील त्यानेच लिहिले होते.

विषुववृत्तापासूनचे कोनात्मक अंतर दाखवितात. याला सूर्याची क्रांती म्हणतात व ती अंशांत मोजतात. तिरकस रेषा निरीक्षणस्थळाचे अक्षांश दाखवितात.

ह्या आलेखाचा उपयोग करावयाचा झाल्यास, वर्षाच्या निरनिराळ्या दिवसांत सूर्याचे विषुववृत्तापासूनचे कोनात्मक अंतर कोणत्या बाजूस व किती आहे हे माहीत हवे. हे आकडे कोष्टकरूपाने खाली दिले आहेत.

दिवस	क्रांती	दिवस	क्रांती
२१ जानेवारी	-२०°	२४ जुलै	+२०°
८ फेब्रुवारी	-१५°	१२ ऑगस्ट	+१५°
२३ फेब्रुवारी	-१०°	२८ ऑगस्ट	+१०°
८ मार्च	-५°	१० सप्टेंबर	+५°
२१ मार्च	-०°	२३ सप्टेंबर	-०°
४ एप्रिल	+५°	६ ऑक्टोबर	-५°
१६ एप्रिल	+१०°	२० ऑक्टोबर	-१०°
१ मे	+१५° १/२	३ नोव्हेंबर	-२०°
२१ मे	+२०°	२२ नोव्हेंबर	-१५°
२२ जून	+२३	२२ डिसेंबर	-२३ १/२

काही उदाहरणे घ्या.

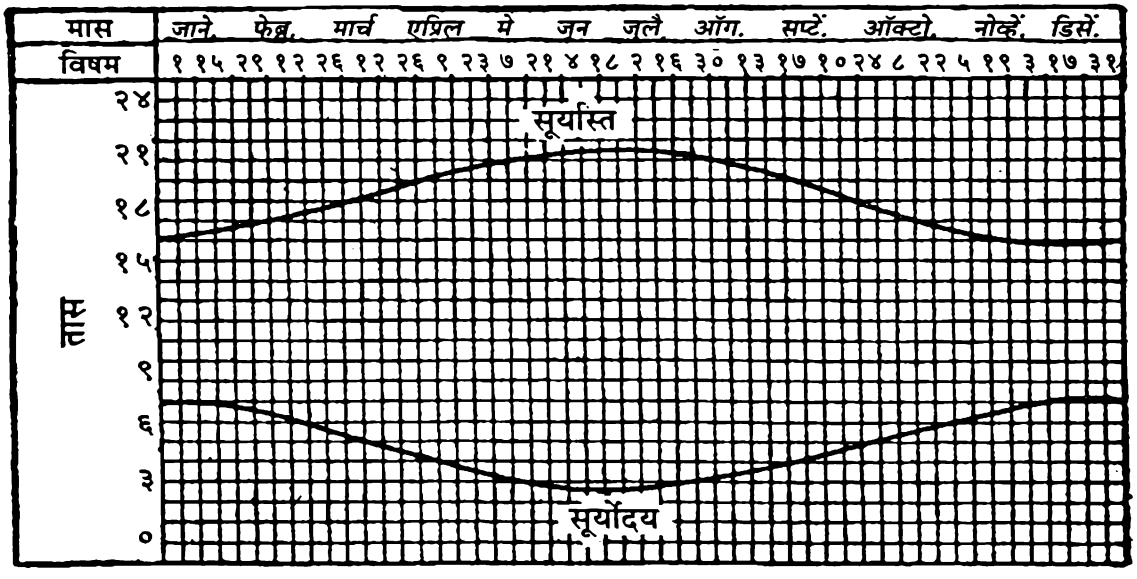
(१) नोव्हेंबर १० रोजी नाशिक (उत्तर अक्षांश २०°) येथे सूर्यप्रकाश किती वेळ असेल?

नोव्हेंबर १० रोजी सूर्याची क्रांती-१७° आहे; (तो दक्षिण गोलार्धात आहे) हे त्याचे आकाशीय विषुववृत्तापासूनचे कोनात्मक अंतर झाले. आकृती ८ मध्ये तळाशी १७°चा बिंदू पहा व तेथून उभी लंबरेषा काढा. ही लंबरेषा २० अक्षवृत्ताच्या तिरकस रेषेला छेदते. छेदबिंदू साधारण १२ ३/४ तासांवर येतो. पण आपण दक्षिणक्रांतीची वेळ घेतल्यामुळे हा काळ सूर्यप्रकाशाचा नसून अंधाराचा आहे. म्हणजे त्या दिवशी नाशिकमध्ये २४-१२।।। म्हणजे ११। तास सूर्यप्रकाश असेल.

(२) एप्रिलच्या मध्यावर लेनिनग्राड येथील दिनमान काय असेल?
लेनिनग्राड ६०° अक्षवृत्तावर आहे.

आपल्या कोष्टकात एप्रिलच्या मध्यावर सूर्याची क्रांती+१०° आहे. आकृती ८ मध्ये १०° वरची लंबरेषा ६०° अक्षवृत्ताला १४॥ तासावर छेदते. त्या अर्थी एप्रिलच्या मध्यावर लेनिनग्राडला दिनमान साधारण १४॥ तास असेल. साधारण म्हणण्याचे कारण वातावरणामुळे सूर्यप्रकाशाचे वक्रीभवन होऊन जो परिणाम होतो, तो आपण हिशोबात घेत नाही.

नाशिकचा सूर्योदयकालही आपणाला काढता येईल. ११।चे निम्मे केल्यास ५ तास ३८ मिनिटे येतात. आकृती ७ वरून आपल्याला माहीत आहे की नोव्हेंबर १०ला खरी किंवा स्पष्ट मध्यान्ह होईल, तेव्हा घड्याळ ११ तास ४३ मिनिटे दाखवील. त्यातून ५ तास ३८ मिनिटे वजा करा. म्हणजे कळेल की ६ वाजून ५ मिनिटांनी सूर्योदय होईल आणि सूर्यास्त ११ तास ४३ मि. + ५ तास ३८ मि. = १७ तास २१ मि. म्हणजे संध्याकाळी ५ वाजून २१ मिनिटांनी होईल. हा अर्थात नाशिकचा स्थानिक काळ किंवा निजकाल झाला, तो भारतीय प्रमाण वेळेशी (स्टँडर्ड टाईमशी) जमवून घ्या.



आकृती ९ : ५०व्या अक्षांशवृत्तावरील सूर्योदय आणि सूर्यास्त यांचा आलेख.

ह्या पद्धतीचा उपयोग करून तुम्हाला तुमच्या अक्षांश वृत्तावरील सूर्योदय आणि सूर्यास्ताचे काल सबंध वर्षासाठी काढता येतील. आकृती ९मध्ये ५०°साठी काढलेल्या कालनिदर्शक रेषा दिल्या आहेत. (त्यात स्थानिक काल किंवा निजकाल दिलेला आहे, स्टँडर्ड काल नव्हे.) आकृती ८ व पान १६ वरील कोष्टक यांचा काळजीपूर्वक उपयोग करून तुम्हाला तुमच्या अक्षवृत्तावरची आकृती तयार करता येईल व ती पाहून कोणत्याही दिवशी सूर्योदय किंवा सूर्यास्त केव्हा होईल हे सांगता येईल.

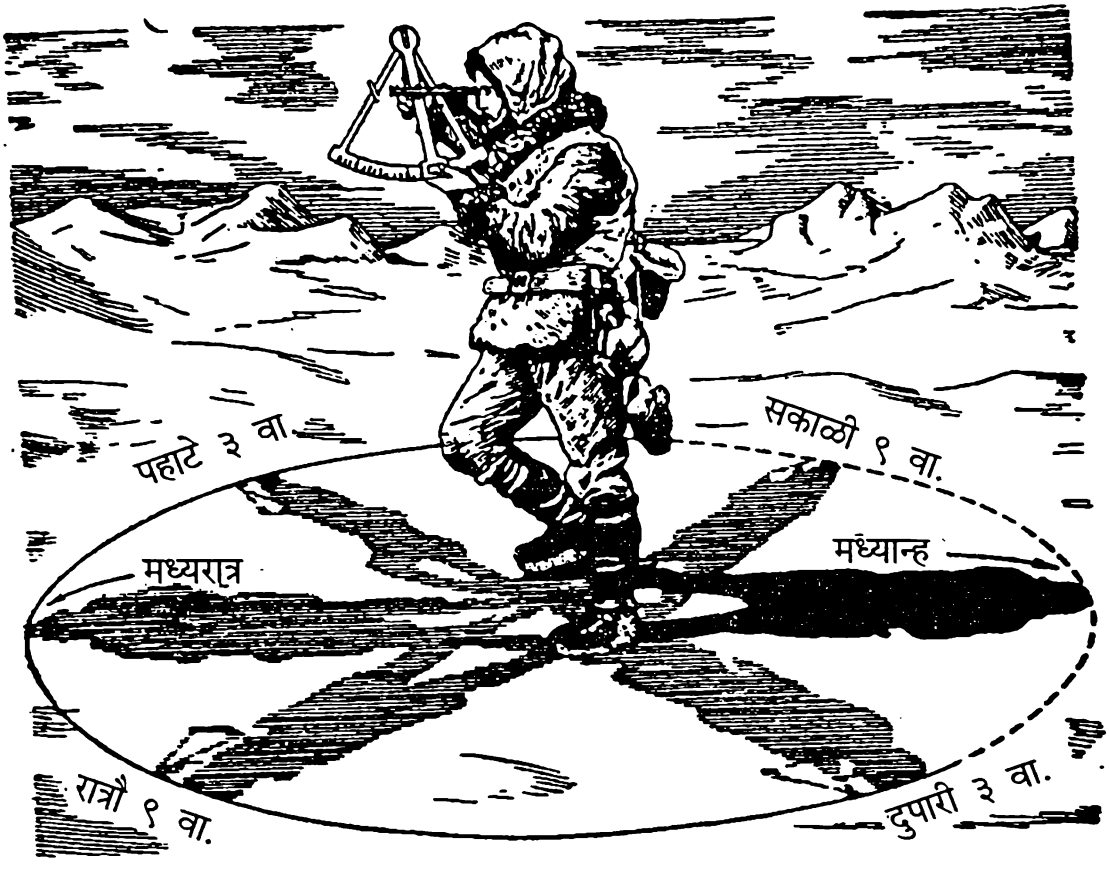
उष्णकटिबंधाबाहेरील सावल्या

आकृती १० पहा. त्यातला खलाशी उन्हात उभा आहे पण त्याची **सावली फक्त खाली** आहे, बाजूला नाही. कारण त्यात सूर्य बरोबर डोक्यावर आहे, दक्षिणेला किंवा उत्तरेला नाही.

आकृती १०: सावली जवळ जवळ नाही. विषुववृत्ताजवळ घेतलेल्या छायाचित्रावरून तयार केलेले रेखाचित्र.

उष्णकटिबंधाच्या उत्तरेला किंवा दक्षिणेला अशी सावली कधीच दिसत नाही, कारण तेथे सूर्य कधीच असा डोक्यावर येत नाही. २२ जूनला सूर्याची उत्तरक्रांती जास्तीतजास्त म्हणजे २३$\frac{१^\circ}{२}$ असते, तेव्हा तो त्या वृत्तावर म्हणजे कर्कवृत्तावर मध्यान्हकाली डोक्यावर येतो. उलट सहा महिन्यांनी त्याची दक्षिणक्रांती जास्तीतजास्त २३$\frac{१^\circ}{२}$असते तेव्हा त्या वृत्तावर म्हणजे मकरवृत्तावर तो मध्यान्हकाळी डोक्यावर येतो. या दोन वृत्तांच्या मधल्या प्रदेशात तो वर्षातून दोन वेळा डोक्यावर येतो. पण कर्कवृत्ताच्या उत्तरेस आणि मकरवृत्ताच्या दक्षिणेस तो कधीच डोक्यावर येत नाही.

आकृती ११ **ध्रुवावरची सावली** दाखवते. ती अधिकच चमत्कारिक परंतु उद्‌बोधक आहे. एकाच वेळी माणसाच्या सहा सावल्या असू शकत नाहीत. चित्रकाराचा उद्देश केवळ ध्रुवावरच्या सूर्याचे वैशिष्ट्य दाखविणे हा होता. ते वैशिष्ट्य असे की, तेथे **सावलीची लांबी दिवसभर सारखीच असते!** याचे कारण ध्रुवप्रदेशात सूर्य आपल्या इकडच्या प्रदेशांप्रमाणे क्षितिजाशी कोन करून



आकृती ११ : ध्रुवस्थानी दिवसभर सावल्या सारख्याच लांबीच्या असतात.

वाटचाल करीत नाही, तो क्षितिजास जवळ जवळ समांतर अशा मार्गाने जातो. ह्या चित्रात चूक आहे, पण ती माणसाची उंची आणि सावलीची लांबी यांच्या परस्पर प्रमाणात आहे. सावली असावी त्याहून लहान दाखविली आहे. चित्रातल्या एवढी लांब सावली पडायला सूर्य आकाशात ४० अंश वर असायला हवा. पण ते ध्रुवावर शक्य नाही. तेथे सूर्य कधीच २३ $\frac{1}{2}$ अंशाच्या वर जात नाही. त्रिकोणमितीचे साधारण ज्ञान असल्यास तुम्हीदेखील थोडा हिशेब करून सांगू शकाल की ध्रुवावरची सर्वात छोटी सावलीदेखील सावली पाडणाऱ्या वस्तूपेक्षा निदान २.३ पट लांब असायला पाहिजे!

दोन आगगाड्यांचे कोडे

प्रश्न : दोन तंतोतंत सारख्या आगगाड्या एकाच वेगाने जात आहेत. पण एक पूर्वेकडून पश्चिमकडे जात आहे आणि दुसरी पश्चिमेकडून पूर्वेकडे जात आहे. त्यापैकी अधिक जड कोणती?

उत्तर : पृथ्वीच्या परिवलन गतीच्या दिशेच्या विरुद्ध, म्हणजे पश्चिमेकडे जाणारी गाडी अधिक जड आहे, म्हणजे रुळांवर तिचा दाब जास्त आहे. दोन्ही गाड्या त्या परिवलन गतीत भाग घेतात. पश्चिमेकडे जाणारी गाडी स्वाभाविक त्या परिवलन वेगापेक्षा कमी वेगाने जाते. पूर्वेकडे जाणाऱ्या गाडीचा वेग परिवलन वेगापेक्षा जास्त आहे. दोहोंचे वजन केंद्रोत्सारी परिणामामुळे घटते, पण कमी वेगाने जाणाऱ्या गाडीच्या वजनाची घट कमी असते. त्यामुळे पूर्वेकडे जाणाऱ्या गाडीपेक्षा पश्चिमेकडे जाणाऱ्या गाडीचे वजन कमी घटते व ती जास्त जड असते.

आकृती १२ : दोन आगगाड्यांचे कोडे

हा फरक कितीसा असेल? समजा, त्या दोन गाड्या ६० अंश अक्षवृत्तावरून जात आहेत आणि त्यांचा वेग ताशी ७२ किलोमीटर किंवा दर सेकंदास २० मीटर एवढा आहे. ह्या अक्षवृत्तावर पृथ्वीच्या अक्षभ्रमणाचा वेग दर सेकंदास २३० मीटर एवढा असतो. तेव्हा पूर्वगामी गाडीचा वेग २३०+२०=२५० मीटर एवढा होईल. पश्चिमगामी गाडीचा वेग २३०−२०=२१० मीटर एवढा होईल.

पहिल्या गाडीचा केंद्रोत्सारी प्रवेग,

$$\frac{(\text{वेग})^{२}}{(\text{पृथ्वी-त्रिज्या})} = \frac{२५०००^{२}}{३,२०,०००,०००} \text{ सेंटीमीटर/सेंकद}^{२}$$

(अंतरे सेंटीमीटरमध्ये घ्यावयाची. ६० अंश अक्षवृत्ताची त्रिज्या ३२०० किलोमीटर आहे.)

त्याचप्रमाणे दुसऱ्या गाडीचा केंद्रोत्सारी प्रवेग

$$= \frac{२१०००^{२}}{३२०,०००,०००} \quad \text{सें./से.}^{२}$$

दोहोंतील फरक,

$$\frac{२५०००^{२}-२१०००^{२}}{३२०,०००,०००} = ०६. \text{ सें./से.}^{२}$$

ह्या प्रवेगाची दिशा पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षण शक्तीच्या दिशेशी ६० अंशाचा कोन करते. त्यामुळे गुरुत्वाकर्षण शक्तीच्या दिशेने प्रवेगाचा अंश ०.६ x त्रिज्या ६०° = ०.३ सें./से.^{२}

गुरुत्वाकर्षणाचा प्रवेग ९८० सें/से^{२} आहे. त्याअर्थी केंद्रोत्सारी प्रवेगाचा गुरुत्वाकर्षणविरोधी अंश $\frac{०.३}{९८०}$ किंवा साधारण ०.०००३ एवढा आहे.

यामुळे **पूर्वगामी गाडी पश्चिमगामी गाडीपेक्षा** आपल्या वजनाच्या ०.०००३ एवढ्या हिश्शाने **हलकी असेल.** समजा गाडीला ४५ भरलेले डबे आहेत व त्याचे एकूण वजन ३५०० मेट्रिक टन आहे. मग वजनातील फरक ३५००x०.०००३=१.०५० मे. टन किंवा १०५० किलोग्रॅम एवढा होईल.

गाडीऐवजी ताशी ३४ किलोमीटर वेगाने जाणाऱ्या २०००० टनाच्या बोटी असतील तर हा फरक ३ टन होईल. पूर्वेकडे जाताना बोटीच्या वजनात होणारी घट भारमापकावरदेखील (बॅरोमीटरवर) दिसून येईल. त्यातल्या पाऱ्याची उंची पूर्वगामी बोटीवर ०.०००१५x७६० किंवा १ मिलीमीटर कमी असेल. पूर्व दिशेने ताशी ५ किलोमीटर वेगाने चालत जाणाऱ्या लेनिनग्राडच्या नागरिकांचे वजन विरुद्ध दिशेने जात असताना असते त्याहून १$\frac{१}{२}$ ग्रॅम कमी असते.

'शुभ्र' रात्री आणि 'काळे' दिवस

एप्रिलच्या मध्यापासून लेनिनग्राडमध्ये 'शुभ्र' रात्री सुरू होतात. ह्या 'पारदर्शक संधिप्रकाशाने' आणि 'चंद्राशिवायच्या चांदण्याने' अनेक कवींना स्फूर्ती दिलेली आहे. लेनिनग्राडच्या त्या 'शुभ्र' रात्री प्रवासवर्णनात एवढ्या वेळा चमकल्या

आहेत की, त्याच एका शहराचे हे वैशिष्ट्य असावे असे कुणाला वाटेल. वस्तुत: हा ज्योति:शास्त्रीय चमत्कार एका विशिष्ट अक्षांशाच्या उत्तरेस सर्वत्रच आढळतो.

काव्याच्या प्रांतातून ज्योति:शास्त्राच्या गद्याकडे वळल्यावर आपल्याला कळेलच की 'शुभ्र' रात्र म्हणजे संध्या आणि प्रभात यांचाच संगम होय. ही घटना म्हणजे **संध्याकाळच्या व सकाळच्या अशा दोन संधिप्रकाशांचे मीलन** होय, हे पुष्कीन कवींचे वर्णन अचूक आहे. तो म्हणतो :

जणू रात्रीचे आक्रमण रोखण्यासाठी,
आणि तिला सुवर्णनभाच्या बाहेर ठेवण्यासाठी,
संध्या धावत येते
आपल्या सख्याच्या मीलनास.

ज्या प्रदेशात आकाशक्रमण करताना सूर्य क्षितिजाखाली अवघा १७॥ अंश जातो, तेथे सूर्यास्तानंतर लगेच पहाट होते, रात्र जेमतेम अर्धा तासच असते. स्वाभाविकच हा चमत्कार म्हणजे लेनिनग्राडची किंवा इतर कोणत्या ठिकाणाची मक्तेदारी नाही. ह्या 'शुभ्र' रात्रीच्या प्रदेशाची सीमा ज्योति:शास्त्रीयदृष्ट्या लेनिनग्राडच्या पुष्कळ दक्षिणेस असल्याचे आढळून येईल.

मेच्या मध्यापासून जुलैच्या अखेरपर्यंत मॉस्कोच्या नागरिकांनाही 'शुभ्र' रात्रींचा देखावा पाहता येतो. ही रात्र लेनिनग्राडएवढी उजळ नसते. पण लेनिनग्राडमध्ये मे महिन्यात दिसणारी 'शुभ्र' रात्र मॉस्कोमध्ये जून महिन्यात तसेच जुलैच्या आरंभी पाहता येते.

'शुभ्र' रात्रींच्या प्रदेशाची दक्षिण सीमा सोविएत युनियनमधील पोल्तावा शहरातून जाते. हे शहर ४९ अंश अक्षांशावर आहे. ($६६\frac{१}{२} \times १७\frac{१}{२} = ४९^\circ$). या सीमेवर वर्षातून एकच 'शुभ्र' रात्र असते व ती २२ जून रोजी. तिच्या उत्तरेस ह्या रात्री अधिक उजळ असतात आणि त्या संख्येनेही जास्त असतात. जेवढे उत्तरेस जावे तेवढ्या त्या जास्त उजळ होत जातात.

ज्या ठिकाणी सूर्य अध:स्वस्तिकावर असतानासुद्धा क्षितिजाच्या खाली उतरत नाही, क्षितिजावरून चाटून जातो, त्या ठिकाणी केवळ सूर्यास्त आणि सूर्योदय एका वेळी होतात एवढेच नाही तर तेथे सतत दिवसच असतो. हा प्रकार ६५° ४२'च्या उत्तरेस, म्हणजे मध्यरात्रीच्या सूर्याच्या प्रदेशात सुरू होतो. त्याच्याही उत्तरेस, ६७° २४' पलीकडे, **अखंड रात्रही** पाहावयास मिळते.

त्यात पहाट आणि संध्याकाळ दुपारच्या वेळेस एक होतात, मध्यरात्री नव्हे. हा झाला 'काळा' दिवस, 'शुभ्र' रात्रीच्या उलट. दोहोंचा उजळपणा सारखाच असतो. 'मध्यान्हीच्या अंधाराचा प्रदेश' हाच 'मध्यरात्रीच्या सूर्याचा प्रदेश' असतो, फक्त हे चमत्कार त्यात निरनिराळ्या ऋतूत घडतात. तेथे जूनमध्ये सूर्य कधीच अस्तास जात नाही तर डिसेंबरमध्ये सूर्योदयच कधी होत नाही आणि अनेक दिवस अंधार असतो.

उजेड आणि अंधार

आपल्या ह्या जगात दिवस आणि रात्र यांचे सम-पर्यायी चक्र सतत चालू असते, ही आपली लहानपणाची कल्पना वस्तुस्थितीला पूर्णपणे धरून नाही, याचा 'शुभ्र' रात्री हा पुरावा आहे. प्रत्यक्षात उजेड आणि अंधार यांचा हा क्रम पुष्कळ अधिक वैशिष्ट्यपूर्ण आहे. तो दिवस-रात्रीच्या नेहमीच्या पद्धतीत बसतोच असे नाही. ह्या बाबतीत जगाचे पाच भाग असे पाडता येतील की ज्यात उजेड आणि अंधार यांचा क्रम भिन्न भिन्न आहे.

पहिला भाग विषुववृत्ताच्या दोन्ही बाजूस ४९ अक्षांशापर्यंत पसरलेला आहे. ह्याच भागात फक्त **दर २४ तासांत पूर्ण दिवस आणि पूर्ण रात्र** यांचे अस्तित्व आहे.

दुसरा भाग ४९ आणि ६५$\frac{१}{२}$ ह्या अक्षांशाच्या दरम्यान आहे; त्यामध्ये कर्कसंक्रमणाच्या आसपास (म्हणजे २२ जूनच्या आसपास) अखंड संधिप्रकाश असतो, हा झाला '**शुभ रात्रींचा प्रदेश**'.

६५$\frac{१^\circ}{२}$ ते ६७$\frac{१^\circ}{२}$ ह्या दरम्यानच्या तिसऱ्या चिंचोळ्या पट्टीत २२ जूनच्या आसपास काही दिवस सूर्य मुळीच मावळत नाही. हा आहे '**मध्यरात्रींच्या सूर्याचा प्रदेश**'.

चौथा भाग ६७$\frac{१}{२}$ आणि ८३$\frac{१^\circ}{२}$ अक्षांशांच्या दरम्यान येतो; त्यात तिसऱ्या भागाप्रमाणेच जूनमध्ये अखंड दिवस असतोच, पण त्याबरोबर डिसेंबरमध्ये दीर्घ रात्र असते. त्या काळात तेथे सूर्योदय होतच नाही आणि संधिप्रकाश मात्र दिवसभर असतो. हा आहे '**काळ्या दिवसाचा प्रदेश**'.

पाचवा व शेवटचा भाग म्हणजे ८३$\frac{१}{२}$च्या उत्तरेचा भाग. त्यात उजेड आणि अंधार यांचा क्रम थोडा विलक्षण आहे. दिवस-रात्रीच्या क्रमात 'शुभ्र' रात्रींनी जो खंड पडतो, त्यामुळे त्या भागात तर सामान्य क्रम साफच विस्कळीत

होतो. २२ जूनचे कर्कसंक्रमण आणि २२ डिसेंबरचे मकरसंक्रमण या दरम्यानच्या सहा महिन्यांचे सोयीच्या दृष्टीने येथे पाच भाग किंवा ऋतू पडतात. पहिला भाग अखंड दिवसाचा. दुसरा भाग खरी रात्र न होता दिवस आणि मध्यरात्रीचा संधिप्रकाश यांच्या आवर्तनाचा. (लेनिनग्राडमधील उन्हाळ्याच्या 'शुभ्र' रात्री याची क्षुद्र आवृत्ती होय). तिसरा भाग अखंड संधिप्रकाशाचा, त्यात खरा दिवस वा खरी रात्र दोन्ही नाहीत. चौथा भाग अखंड संधिप्रकाश आणि मध्यरात्रीतील खरी रात्र यांच्या चक्राचा आणि **पाचवा भाग अखंड अंधाराचा.** डिसेंबर ते जून ह्या पुढील सहा महिन्यांत हे कालखंड उलट्या क्रमाने पुन्हा येत जातात.

विषुववृत्ताच्या दुसऱ्या बाजूस, दक्षिण गोलार्धात योग्य त्या भौगोलिक पट्ट्यात असेच चमत्कार आढळतात.

अतिदक्षिणेच्या 'शुभ्र' रात्रीविषयी आपण कधीच काही ऐकलेले नाही याचे कारण तो सारा सागरमय प्रदेश आहे.

लेनिनग्राडशी जुळणाऱ्या दक्षिण गोलार्धातील अक्षांशवृत्तावर कुठेही जमीन नाही; तेथे सर्वत्र पाणी आहे; यामुळे केवळ ध्रुवप्रदेशात जाणाऱ्या नाविकांनाच तेथल्या 'शुभ्र' रात्रीचे कौतुक करण्याची संधी मिळते.

ध्रुवावरील सूर्याचे कोडे

प्रश्न : ध्रुवावर जाणाऱ्या संशोधकांना दूर उत्तरेच्या प्रदेशात सूर्यकिरणाचे एक विलक्षण वैशिष्ट्य आढळते. **तेथे ह्या किरणांनी जमिनीचा भाग फारच थोडा तापतो, पण उभ्या असलेल्या वस्तूंवर मात्र त्यांचा परिणाम आश्चर्य वाटावे एवढा मोठा होतो.** उभे कडे आणि घरांच्या भिंती अत्यंत तापतात. बर्फाची छोटी घरे आणि लाकडी जहाजांवरचे डांबर लगेच वितळू लागतात, चेहरा उन्हाने पोळतो, वगैरे.

याचे कारण काय?

उत्तर : पदार्थविज्ञानाच्या एका नियमानुसार किरण जेवढे कमी तिरकस तेवढा त्यांचा प्रभाव जास्त असतो. ध्रुवप्रदेशामध्ये भर उन्हाळ्यातसुद्धा सूर्य क्षितिजाच्या फारसा वर जात नाही. ध्रुव-वर्तुळात त्याची कोनात्मक उंची अर्ध्या काटकोनाहून जास्त असू शकत नाही आणि उत्तरेस जावे तशी ती आणखी कमी होत जाते.

येथून सुरुवात करून आपणाला सहज दाखविता येईल की ह्या प्रदेशात

उभ्या वस्तूवर पडणारे सूर्यकिरण अर्ध्या काटकोनाहून अधिक मोठा कोन करतात; दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे उभ्या पृष्ठभागावर सूर्याचे किरण जास्त उभे पडतात व जमिनीच्या सपाटीवर ते जास्त तिरकस पडतात. स्वाभाविक जमीन कमी तापते आणि उभ्या वस्तू जास्त तापतात.

ऋतूंचा आरंभ केव्हा होतो?

उत्तर गोलार्धातले सर्व लोक २१ मार्चला हिवाळा किंवा शिशिर ऋतू संपला आणि वसंत ऋतू सुरू झाला असे मानतात. मग त्या दिवशी बर्फ पडत असो, उष्णतामान शून्याच्या खाली जावो की हवा सौम्य असो. अर्थात हा आरंभ ज्योतिःशास्त्राच्या दृष्टीने आहे. हवा त्या दिवशी कशीही असो, कडकडीत थंडी असो की चांगली ऊब असो, शिशिर आणि वसंत ह्यांच्या सीमारेषेचा दिवस हाच कां धरतात, हे पुष्कळांना कळत नाही.

खरी गोष्ट ही की, ज्योतिःशास्त्रीय वसंत ऋतूचा आणि हवामानाच्या लहरींचा नि बदलांचा काहीएक संबंध नाही. गोलार्धातील सर्वच ठिकाणी वसंत ऋतूचा आरंभ ह्या दिवशी होतो ही गोष्टच दर्शविते की, हवेतील फेरबदलांना त्यात महत्त्व नाही. अर्ध्या जगात सर्व ठिकाणी सारखी हवा असणे अशक्यच आहे!

ऋतूंचा आरंभ ठरविताना ज्योतिःशास्त्रज्ञ **हवामानविषयक नव्हे तर ज्योतिःशास्त्रविषयक घटनांचा आधार** घेतात. त्या घटना म्हणजे मध्यान्हीच्या सूर्याची उंची आणि तदनुषंगिक दिनमान. हवामान ही केवळ प्रासंगिक घटना आहे.

वर्षाचे इतर दिवस आणि २१ मार्च यात फरक आहे; तो हा की मार्च २१ला उजेड आणि अंधार यातील सीमा रेषा भूगोलाच्या ध्रुवावरून जाते. दिव्यासमोर एखादा गोळा धरला तर तुम्हाला आढळेल की प्रकाशित भागाची सीमा याम्योत्तरवृत्तावरून जाते आणि ती विषुववृत्ताला आणि सर्व अक्षवृत्तांना काटकोन करून छेदते. आता हा गोळा गोल फिरवा; त्याच्या पृष्ठभागावरचा प्रत्येक बिंदू वर्तुळाकार फिरेल आणि ह्या वर्तुळाचा बरोबर निम्मा भाग उजेडात आणि निम्मा भाग अंधारात असेल. याचा अर्थ त्या दिवशी दिवस आणि रात्र समान असतात आणि ही समानता उत्तर ध्रुवापासून दक्षिण ध्रुवापर्यंत सर्व ठिकाणी प्रत्ययास येते. ह्या दिवशी दिवस बरोबर १२ तासांचा असतो आणि त्यामुळे सूर्य सगळीकडे स्थानिक वेळेनुसार सकाळी ६ वाजता उगवून संध्याकाळी

६ वाजता मावळतो.

म्हणजे **२१ मार्चचे वैशिष्ट्य हे की त्या तारखेस जगभर दिवस आणि रात्र समान असतात.** ह्या उल्लेखनीय घटनेस 'वसंत संपात' म्हणतात. वसंत हा शब्द मागे जोडण्याचे कारण संपात तेवढा एकच नाही. सहा महिन्यानंतर २३ सप्टेंबर रोजी पुन्हा दिवस आणि रात्र समान होतात. त्याला 'शरद संपात' म्हणतात. त्या दिवशी ग्रीष्म संपतो आणि शरद ऋतूचा आरंभ होतो. उत्तर गोलार्धात वसंत संपात असतो त्या वेळी दक्षिण गोलार्धात शरद संपात असतो. विषुववृत्ताच्या एका बाजूला शिशिर संपून वसंत सुरू होत असतो त्या वेळी दुसऱ्या बाजूला ग्रीष्म संपून शरद सुरू होत असतो. उत्तर गोलार्धातले ऋतू आणि दक्षिण गोलार्धातले ऋतू भिन्न भिन्न असतात.

दिवस आणि रात्री यांचे सापेक्ष मान वर्षभरातून कसे बदलत जाते हे आता आपण पाहू. शरद संपातापासून म्हणजे २३ सप्टेंबरपासून उत्तर गोलार्धात दिवस रात्रीहून लहान होतो आणि पुढे ३ महिने तो अधिकाधिक लहान होत जातो. २२ डिसेंबरला तो पुन्हा मोठा होऊ लागतो आणि मार्च २१ला तो रात्रीची बरोबरी करतो. म्हणजे सहा महिने दिवस रात्रीपेक्षा लहानच असतो. मार्च २१ नंतर दिवस रात्रीपेक्षा मोठा होतो आणि तीन महिने २२ जूनपर्यंत तो अधिकाधिक मोठा होत जातो. त्यानंतर तो लहान होत जातो आणि पुन्हा सप्टेंबर २३ला शरद संपाताच्या दिवशी दिवस-रात्र समान होतात. म्हणजे ६ महिने दिवस रात्रीपेक्षा मोठा असतो.

ज्योतिःशास्त्रीय ऋतूंचा आरंभ आणि अंत या चार तारखांना होतात. उत्तर गोलार्धात हे चक्र खालीलप्रमाणे आहे.

२१ मार्च	रात्र आणि दिवस समान	वसंतारंभ
२२ जून	सर्वात मोठा दिवस	ग्रीष्मारंभ
२३ सप्टेंबर	दिवस आणि रात्र समान	शरदारंभ
२२ डिसेंबर	सर्वात लहान दिवस	शिशिरारंभ

विषुववृत्तच्या खाली दक्षिण गोलार्धातला वसंत आपल्या शरदाच्या वेळी येतो; शिशिर आपल्या ग्रीष्माच्या वेळी येतो, इत्यादी.

काही प्रश्न

वाचकांसाठी खाली काही प्रश्न दिले आहेत. त्यावर विचार केल्यास

आतापर्यंत सांगितलेल्या गोष्टी आत्मसात करून स्मरणात ठेवण्यास मदत होईल.

१) दिवस आणि रात्र वर्षभर समान आहेत असे पृथ्वीवर कुठे घडते?

२) २१ मार्च रोजी ताश्कंद, टोकियो आणि बुएनोस एरीस या तीन शहरांत सूर्योदयाची स्थानिक वेळ काय असेल?

३) २३ सप्टेंबर रोजी नोव्होसिबिर्स्क, न्यूयॉर्क आणि केप ऑफ गुड होप या तीन ठिकाणी सूर्यास्ताची स्थानिक वेळ काय असेल?

४) २ ऑगस्ट आणि २७ फेब्रुवारी ह्या दोन दिवशी विषुववृत्तावरील स्थळांवर सूर्योदय केव्हा होईल?

५) जुलैमध्ये कडक थंडी आणि जानेवारीत कडक उन्हाळा असा प्रकार शक्य आहे का?*

तीन 'जर — '

कधी कधी अपरिचित घटनांपेक्षा परिचयाच्या घटना समजून घेणे जास्त अवघड असते. उदाहरणार्थ, आपण शाळेत दशमान अंकगणनेची पद्धत शिकतो; पण दहाऐवजी सात किंवा बारासारखे आकडे घेऊन अंक मोजण्याचा प्रयत्न जर केला तरच ह्या दशमान पद्धतीची उपयुक्तता आपल्या लक्षात येते. युक्लीडची भूमिती तुम्हाला जड वाटत असेल तर युक्लीडेतर भूमितीत जरा लक्ष घालून पाहा, युक्लीडची भूमिती सरळ नि सोपी असल्याबद्दल तुमची लगेच खात्री पटेल! आपल्या जीवनात गुरुत्वाकर्षणाचे कार्य काय हे जर नीट समजून घ्यायचे तर हे गुरुत्वाकर्षण आहे त्याहून कित्येकपट कमी अथवा जास्त असते तर काय घडले असते याची कल्पना करून पाहा! पुढे एकदा आपण ते करून पाहाणार आहोत. सध्या सूर्याभोवतालच्या पृथ्वीच्या गतीची नीट कल्पना येण्यासाठी आपण ही जर-तरची पद्धत उपयोगात आणून पाहू.

---

* उत्तरे : १) विषुववृत्तावर दिवस आणि रात्र नेहमीच समान असतात; कारण पृथ्वीची स्थिती काहीही असो, उजेड आणि अंधार यांची सीमा विषुववृत्ताचे बरोबर दोन भाग करते. २) व ३). संपातांच्या दिवशी साऱ्या जगात सूर्योदय आणि सूर्यास्त एकाच वेळेस म्हणजे स्थानिक काळानुसार सकाळी ६ वाजता आणि संध्याकाळी ६ वाजता होतात. ४) विषुववृत्तावर वर्षाचे सर्व दिवस सूर्योदय सकाळी ६ वाजता होतो. ५) दक्षिण गोलार्धात हा प्रकार नेहमीचाच आहे.

पृथ्वीचा अक्ष पृथ्वीच्या परिभ्रमणाच्या पातळीशी ६६$\frac{१}{२}$ अंशाचा, म्हणजे पाऊण काटकोनाएवढा कोन करतो ही गोष्ट शाळेत आपल्या डोक्यात ठासून बसवतात. त्या गृहीत सत्यापासून आपण सुरुवात करूया. त्याचा अर्थ नीट समजून घेण्यासाठी हा कोन पाऊण काटकोनाएवढा असण्याऐवजी एक काटकोनाएवढाच आहे अशी कल्पना करूया. म्हणजे पृथ्वीच्या परिवलनाचा अक्ष परिभ्रमण कक्षेच्या पातळीला लंबरूप आहे अशी कल्पना करायची. ज्यूल व्हर्न यांच्या 'उलटे जग' ह्या पुस्तकात तोफक्लबची मंडळी हेच करण्याच्या मागे असल्याचे दाखविलेले आहे. जर तसे घडले तर निसर्गाच्या सध्याच्या लयीत त्यामुळे कोणते बदल घडले असते?

जर पृथ्वीचा अक्ष कक्षेच्या पातळीशी काटकोन करीत असता तर –

ज्यूल व्हर्नच्या कादंबरीतील गोलंदाजांना 'पृथ्वीचा अक्ष सरळ करण्याच्या' योजनेत यश येऊन तो अक्ष त्यांनी पृथ्वीच्या परिभ्रमण कक्षेच्या पातळीशी काटकोन करण्याच्या स्थितीत नेऊन ठेवला अशी आपण कल्पना करू. मग निसर्गात कोणते बदल झालेले आपल्याला आढळतील?

पहिली गोष्ट म्हणजे **ध्रुव तारा हा ध्रुव राहणार नाही.** कारण त्या नव्या स्थितीत पृथ्वीचा अक्ष त्या ताऱ्यातून न जाता दुसऱ्या एखाद्या बिंदूमधून जाईल आणि डोक्यावरचा भूगोल त्या बिंदूभोवती फिरू लागेल.

दुसरी गोष्ट म्हणजे **ऋतुचक्र सर्वस्वी वेगळे असेल. अथवा खरे म्हणजे ऋतुचक्र असणारच नाही!** ऋतू बदलण्याचे कारण काय? उन्हाळा, हिवाळ्यापेक्षा अधिक उष्ण कां असतो? ह्या साध्या प्रश्नाचे उत्तर आपण टाळू नये. शाळेत असताना त्याची ओझरती कल्पना आपणाला देण्यात आली होती; पण शाळा सोडल्यानंतर इतर विवंचनांमुळे ते लक्षात ठेवायला बहुतेकांना फुरसत मिळालीच नसेल.

उत्तर गोलार्धात उन्हाळा हा उष्ण असतो याचे कारण एकतर पृथ्वीचा अक्ष कललेला आहे. त्याचे उत्तरेचे टोक त्या वेळी सूर्याकडे जास्त वळलेले असते आणि त्यामुळे दिवस मोठे आणि रात्री लहान होतात. जास्त वेळ सूर्यासमोर राहिल्याने भूपृष्ठ जास्त तापते आणि अंधाराचा काळ लहान असल्याने तेवढ्यात ते विशेष थंड होत नाही—उष्णतेची आवक वाढते, जावक कमी होते.

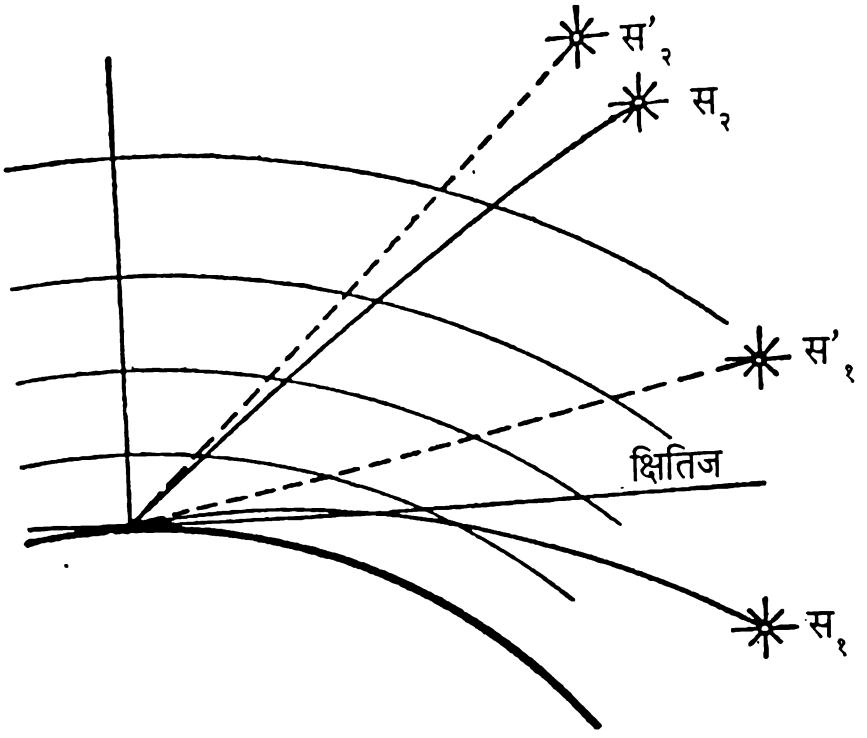
दुसरे म्हणजे पृथ्वीचा अक्ष सूर्याकडे कललेला असल्यामुळे दिवसा सूर्य अधिक उंच चढतो आणि त्याचे किरण पृथ्वीवर जास्त उभे येतात. यामुळे उन्हाळ्यात सूर्याकडून जास्त उष्णता मिळते आणि रात्री उष्णता जाण्याचे प्रमाण कमी असते. हिवाळ्यात याउलट घडते. उष्णता मिळण्याचा काळ आणि तिचे मान दोन्ही कमी असतात, उलट रात्री थंड होण्याची क्रिया विशेष असते.

दक्षिण गोलार्धात ही क्रिया सहा महिने नंतर—वाटल्यास सहा महिने अगोदर म्हणा—घडते. वसंत आणि शरद ऋतूत सूर्यकिरणांच्या दृष्टीने दोन्ही ध्रुव समान अंतरावर असतात, प्रकाशाचे वृत्त याम्योत्तर वृत्तांशी जवळ जवळ एकरूप होते आणि हवामान उन्हाळा आणि हिवाळा यांच्या दरम्यानचे असते.

पण जर पृथ्वीचा अक्ष कक्षेच्या पातळीशी काटकोन करीत असता तर असे बदल घडले असते का? नाही, कारण भूगोलावर सूर्याचे किरण नेहमी एकच कोन करून पडले असते आणि वर्षाचे बारा महिने एकच ऋतू राहिला असता. हा ऋतू कोणता असता? समशीतोष्ण आणि शीत कटिबंधात त्याला आपण वसंत ऋतू म्हटले असते. अर्थात त्याला शरद ऋतू म्हणणे तेवढेच समर्थनीय झाले असते.

सध्याच्या स्थितीत मार्च आणि सप्टेंबरच्या तिसऱ्या आठवड्यातच दिवसरात्र सम असतात; ह्या नव्या कल्पित स्थितीत **दिवसरात्र सर्वत्र आणि सर्वदा सम होतील.** (गुरूवर साधारण ही स्थिती आहे; त्याच्या परिवलनाचा अक्ष त्याच्या परिभ्रमणाच्या पातळीशी जवळ जवळ काटकोन करतो.)

समशीतोष्ण कटिबंधांत या गोष्टी घडतील, तर उष्ण कटिबंधांत **हवामान** विशेष बदलणार नाही. ध्रुव प्रदेशात ते फारच बदलेल. वातावरणापायी प्रकाशाचे वक्रीभवन होऊन सूर्य आहे त्याहून वर दाखविला जाण्याची जी क्रिया सर्वत्रच घडते, त्यामुळे तेथे सूर्य मावळण्याऐवजी क्षितिजाला चाटून मार्गक्रमण करीत राहील. दिवस, किंवा जास्त अचूक सांगायचे तर पहाटही अखंड असेल. एवढा खाली असणारा सूर्य उष्णता थोडीच देईल, पण तो वर्षभर चमकत राहिल्यामुळे तेवढ्याने सध्याची ध्रुव प्रदेशातील अतिशीत हवा बरीच सौम्य होईल. हा फायदा झाला, पण पृथ्वीच्या उच्च-विकसित प्रदेशाचे जे नुकसान होईल त्या मानाने तो क्षुल्लकच आहे.



आकृती १३ : वातावरणाजन्य वक्रीभवन. स$_2$ पासून येणारे किरण पृथ्वीच्या वातावरणाच्या थरांतून येताना वक्रीभवन पावतात आणि वळतात, यामुळे निरीक्षकाला वाटते की ते अधिक उंचीवरच्या स$_2$ ह्या बिंदूमधून येत असावेत. स$_1$ ह्या स्थितीत सूर्य क्षितिजाच्या खाली गेला आहे, पण वक्रीभवनामुळे निरीक्षकाला तो क्षितिजाच्या वर आहेसे वाटते.

पृथ्वीचा अक्ष कक्षेच्या पातळीशी ४५ अंशाचा कोन करीत असता तर —

आता अशी कल्पना करू या की, पृथ्वीचा अक्ष कक्षेच्या पातळीशी ४५ अंशाचा कोन करीत आहे. ह्या स्थितीत संपात काळी दिवस आणि रात्री यांचा क्रम आजच्या प्रमाणेच राहील; परंतु जूनमध्ये सूर्य ४५ अक्षवृत्तावर डोक्यावर येईल, २३$\frac{१}{२}$ च्या अक्षवृत्तावर नव्हे. म्हणजे लेनिनग्राडला (६० अक्षांश) सूर्य ख-स्वस्तिकापासून फक्त १५ अंश दक्षिणेला असेल. आज उष्ण कटिबंधात सूर्य जेवढा वर येतो तेवढेच हे झाले! याचा अर्थ उष्ण कटिबंधाची सीमा सरळ शीत कटिबंधाला जाऊन भिडेल, समशीतोष्ण कटिबंध शिल्लकच राहणार नाही! मॉस्को आणि खार्कोवसारख्या शहरात जूनचा महिना म्हणजे एकच लांबलचक अखंड दिवस होईल. उलट हिवाळ्यात ह्या शहरात कित्येक आठवड्यांपर्यंत ध्रुव प्रदेशातला अखंड अंधार असेल आणि त्याच ऋतूंत उष्ण कटिबंधाचे हवामान समशीतोष्ण कटिबंधासारखे होईल. कारण कुठेही मध्यान्हीचा सूर्य ४५ अंशाच्या वर येणार नाही.

स्वाभाविक उष्ण आणि समशीतोष्ण दोन्ही कटिबंधांचे यामुळे बरेच नुकसान होईल. ध्रुव प्रदेशाचा मात्र काहीसा फायदा होईल. तेथे हिवाळा आजच्याहूनही फार कडक झाला तरी त्यानंतरचा उन्हाळा मात्र साधारण उष्ण असेल. कारण खुद्द ध्रुवावरही मध्यान्हीचा सूर्य आकाशात ४५ अंश वर येईल आणि अर्ध्या वर्षाहून जास्त काळ चमकत राहील. ह्या सूर्याच्या किरणांच्या हितकारक प्रभावाने आर्क्टिक सागरातला चिरस्थायी बर्फ पुष्कळच मागे हटेल.

पृथ्वीचा अक्ष कक्षेच्या पातळीत आला तर —

आपला तिसरा काल्पनिक प्रयोग म्हणजे पृथ्वीचा अक्ष तिच्या कक्षेच्या पातळीत आणायचा. मग पृथ्वी 'पडून राहिलेल्या स्थितीत' सूर्याभोवती फिरत राहील. आपल्या ग्रहमालेचा दूरचा सभासद युरेनस ह्या प्रकारे सूर्याभोवती फिरत असतो. या स्थितीत काय होईल?

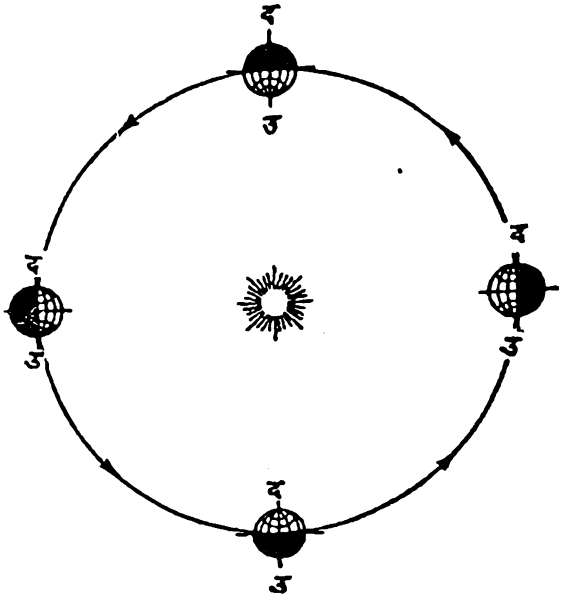
ध्रुवांच्या जवळ दिवस सहा महिन्यांचा होईल आणि या सहा महिन्यांत सूर्य क्षितिजापासून मळसूत्रासारखा चढत चढत अखेर डोक्यावर येईल व पुन्हा तसाच खाली उतरत उतरत क्षितिजाप्रत जाईल. हा दिवस संपल्यानंतर सहा महिन्यांची रात्र सुरू होईल. दोहोंच्या मधे कित्येक दिवस अखंड संधिप्रकाश असेल. सूर्य क्षितिजाच्या खाली नाहीसा होण्यापूर्वी काही दिवस क्षितिजाला चाटून आकाशात फिरत राहील. हा उन्हाळा हिवाळ्यात जमलेले सारे बर्फ वितळवून टाकील.

मध्यम कटिबंधात वसंत ऋतूचे आगमन होताच दिवस झपाट्याने मोठा होत जाईल आणि नंतर कित्येक दिवस सूर्य मावळणारच नाही. हा दीर्घ दिवस केव्हा सुरू होईल आणि किती दिवस टिकेल? ध्रुवापासून एखादे स्थान जितके अंश दूर तितक्या दिवसांनी हा दीर्घ दिवस सुरू होईल आणि त्या स्थानाचे अक्षांश जेवढे असतील त्याच्या दुप्पट दिवस तो टिकेल.

उदाहरणार्थ, लेनिनग्राड ६० अक्षांशावर आहे. तेथे २१ मार्चनंतर ३० दिवसांनी हा दीर्घ दिवस सुरू होईल आणि १२० दिवस टिकेल. २३ सप्टेंबरच्या आधी ३० दिवस पुन्हा रात्री सुरू होतील. हिवाळ्यात याच्या उलट स्थिती होईल, १२० दिवसांऐवजी साधारण तेवढ्या अवधीची अखंड रात्र पडेल. (मुंबईलादेखील उन्हाळ्यात ३७ दिवसांचा दीर्घ दिवस आणि हिवाळ्यात ३७ दिवसांची दीर्घ रात्र असेल.) फक्त विषुववृत्तावर दिवस आणि रात्र वर्षभर सम असतील.

युरेनसचा अक्ष त्याच्या कक्षेच्या पातळीत जवळ जवळ असाच आहे. तो त्या पातळीशी फक्त ८ अंशाचा कोन करतो. युरेनस आपल्या 'कुशीवर पडून' सूर्याला प्रदक्षिणा घालतो असे म्हणावयास हरकत नाही.

हवामान आणि पृथ्वीच्या अक्षाचा कल यांचा संबंध काय याची जास्त स्पष्ट कल्पना वाचकाला या तीन 'जर' वरून येईल. ग्रीक भाषेत हवामान या शब्दाचा अर्थ 'कल' असा होतो हा केवळ योगायोग नाही.



आकृती १४ : पृथ्वीच्या परिवलनाचा अक्ष तिच्या कक्षेच्या पातळीतच असता तर पृथ्वी वरील आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे फिरली असती.

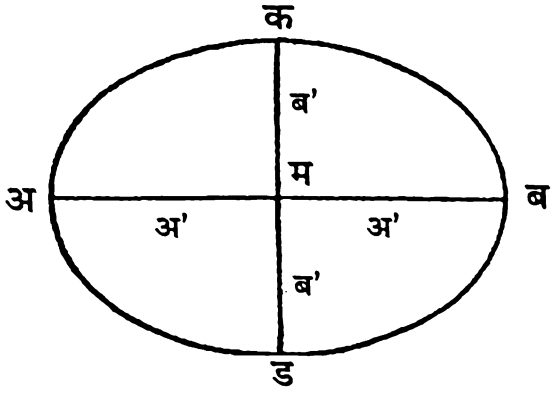
आणखी एक 'जर — '

आता पृथ्वीच्या गतीच्या दुसऱ्या अंगाकडे, तिच्या कक्षेच्या आकाराकडे आपण वळूया. प्रत्येक ग्रहाप्रमाणे पृथ्वीलादेखील केप्लरचा पहिला नियम लागू आहे. तो नियम हा की प्रत्येक ग्रह विवृत्ताकार किंवा लंबवर्तुळाकार मार्गाने फिरत असतो आणि सूर्य ह्या विवृत्ताच्या किंवा लंबवर्तुळाच्या एका केंद्रावर असतो.

पृथ्वीकक्षेचे हे विवृत्त कशासारखे आहे? वर्तुळात आणि ह्या विवृत्तात विशेष मोठा फरक आहे का?

पाठ्यपुस्तकातील आणि प्राथमिक ज्योति:शास्त्रावरील पुस्तकातील चित्रांत पुष्कळ वेळा पृथ्वीची कक्षा बरेच लांबट असे विवृत्त किंवा लंबवर्तुळ काढून दाखविलेली असते. हे चित्र पुष्कळ लोकांच्या डोक्यात तसेच ठसते आणि

त्यांची खात्री असते की पृथ्वीची कक्षा खरोखरच बऱ्याच लांबट अशा विवृत्ताच्या आकाराची असावी. परंतु ते मुळीच खरे नाही. पृथ्वीची कक्षा आणि वर्तुळ यातील फरक एवढा सूक्ष्म आहे की कक्षेची आकृती काढताना ती वर्तुळाकारच दाखवावी लागेल. समजा १ मीटर व्यास घेऊन आपण त्या कक्षेची आकृती रेखाटली तर त्यात आणि वर्तुळात जो फरक असेल तो आकृती दर्शविणाऱ्या रेषेपेक्षाही रुंदीने लहान असेल. अशा विवृत्तात आणि वर्तुळात फरक करणे एखाद्या चित्रकाराच्या चोखंदळ नजरेलासुद्धा जमायचे नाही.

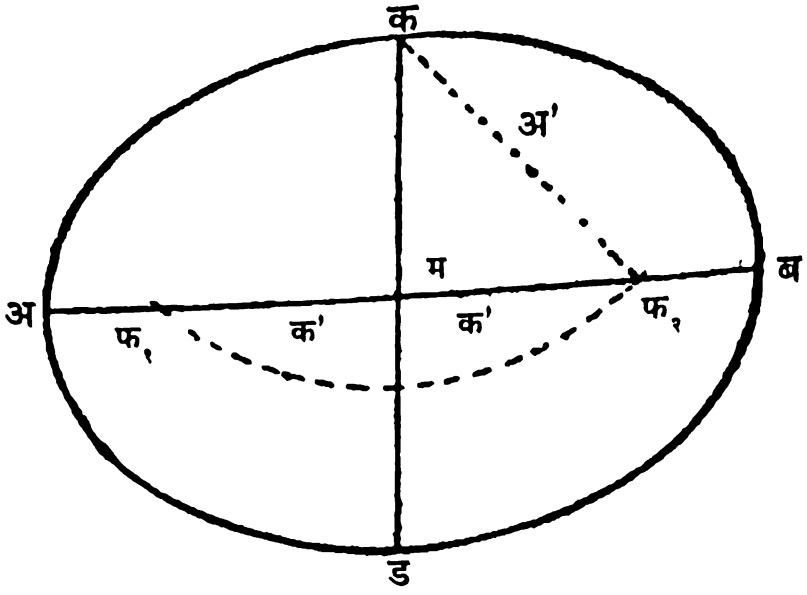


आकृती १५ : विवृत्त आणि त्याचे व्यास, बृहद् (अब) आणि लघु (कड). म हा विवृत्ताचा मध्य आहे.

क्षणभर आपण विवृत्ताची भूमिती पाहू. आकृती १५ मध्ये एक विवृत्त दाखविले आहे. **अब** हा त्याचा बृहद्-व्यास आहे; **कड** हा त्याचा लघुव्यास आहे आणि **म** हा त्याचा मध्य. त्या मध्याखेरीज प्रत्येक विवृत्तात दोन वैशिष्ट्यपूर्ण बिंदू असतात, त्यांना 'केंद्रे' म्हणतात. ही केंद्रे बृहद्-व्यासावर मध्याच्या दोन बाजूस सारख्या अंतरावर असतात. ती शोधून काढण्याची रीत पुढीलप्रमाणे : (आकृती १६ पहा). कंपास घ्या आणि त्याच्या दोन टोकांतील अंतर **मब** म्हणजे बृहद् अर्ध-व्यासाएवढे होईल एवढा तो पसरा. नंतर एक टोक **क**वर ठेवून दुसऱ्या टोकाने बृहद्-व्यासाला छेदणारा चाप काढा. फ$_१$ आणि फ$_२$ हे छेदबिंदू म्हणजेच विवृत्ताची केंद्रे होत. **मफ$_१$** आणि **मफ$_२$** ह्यांची लांबी सारखी आहे. त्या लांबीस क' म्हणूया. त्याचप्रमाणे बृहद्-व्यासाची लांबी २अ' आणि लघु-व्यासाची लांबी २ब' आहे असे धरू.

$$\frac{\text{मफ}_१}{\text{मअ}} = \frac{\text{मफ}_२}{\text{मब}} = \frac{\text{क}'}{\text{अ}'}$$

हा अपूर्णांक विवृत्ताच्या लांबटपणाचे माप होय आणि त्याला विवृत्ताची **केंद्रच्युती** म्हणतात. विवृत्त आणि वर्तुळ यांमधील फरक जेवढा मोठा, तेवढी केंद्रच्युती जास्त असते.



आकृती १६ : विवृत्ताची केंद्रे कशी शोधून काढावीत?

पृथ्वीची कक्षा विवृत्ताकार आहे. ह्या विवृत्ताची केंद्रच्युती केवढी हे कळले म्हणजे कक्षेचा आकार बरोबर लक्षात येईल. कक्षेचे माप न घेतासुद्धा ही केंद्रच्युती आपणाला शोधून काढता येईल. सूर्य ह्या कक्षेच्या एका केंद्रावर आहे. त्यामुळे कक्षेत फिरणारी पृथ्वी निरनिराळ्या वेळी सूर्यापासून कमीअधिक अंतरावर असते व त्यामुळे निरनिराळ्या वेळी सूर्याचा आकारही कमीअधिक भासतो. कधी सूर्य मोठा दिसतो, कधी लहान दिसतो आणि दोन्ही वेळच्या आकारांचे प्रमाण त्या त्या वेळच्या पृथ्वी-सूर्य अंतरांच्या प्रमाणाबरहुकूम असते. समजा, सूर्य आपल्या विवृत्ताच्या **फ$_२$** ह्या केंद्रावर आहे. जुलै १ रोजी पृथ्वी **अ** ह्या बिंदूवर असते त्या वेळी सूर्याचे दृश्य-बिंब सर्वात लहान असते व त्याचा कोनात्मक आकार ३१ कला २८ विकला एवढा असतो. साधारण जानेवारी १ रोजी पृथ्वी **ब** या बिंदूवर पोहोचते, त्या वेळी सूर्याचे दृश्य-बिंब सर्वात मोठे असते व त्याचा कोनात्मक आकार ३२'३२'' एवढा असतो. यावरून पुढील गुणोत्तर निष्पन्न होते.

$$\frac{३१'\ २८''}{३२'\ ३२''} = \frac{\text{बफ}_२}{\text{अफ}_२} = \frac{\text{अ'-क'}}{\text{अ'+क'}}$$

त्यावरून निघणारे व्युत्पन्न गुणोत्तर

$$\frac{\text{अ'-क'-(अ'+क')}}{\text{अ'+क'+(अ'-क')}} = \frac{३१'\ २८''-\ ३२'\ ३२''}{३२'\ ३२''+\ ३१'\ २८''}$$

म्हणजे

$$\frac{\text{क'}}{\text{अ'}} = \frac{६४''}{६४''} = \frac{१}{६०} = ०.०१७$$

म्हणजे पृथ्वीकक्षेची केंद्रच्युती ०.०१७ आहे. सारांश पृथ्वी-कक्षेचा आकार निश्चित करावयाचा झाल्यास सूर्यबिंबाचे माप नीट घेतले म्हणजे काम झाले.

पृथ्वीकक्षेत आणि वर्तुळात फारच अल्पसा फरक आहे हे आता आपण सिद्ध करू. कक्षेचा बृहद्-अर्धव्यास १ मीटर धरून एक प्रचंड आकृती काढली आहे अशी कल्पना करा. त्यात लघु-व्यासाची लांबी केवढी असेल? आकृती १६ मध्ये **मकफ**$_२$ हा काटकोन त्रिकोण आहे. त्यात

$$क'^२ = अ'^२ - ब'^२ \text{ किंवा } \frac{क'^२}{अ'^२} = \frac{अ'^२ - ब'^२}{अ'^२}$$

परंतु $\frac{क}{अ}$ ही कक्षेची केंद्रच्युती झाली. ती $\frac{१}{६०}$ आहे. आता अ'^{२}-ब'^{२} ऐवजी (अ'+ब') (अ'-ब') लिहा, तसेच अ' व ब' यात फारच थोडा फरक असल्यामुळे (अ'+ब') ऐवजी २ अ' घ्या. मग

$$\frac{१}{६०^२} = \frac{२अ' (अ'-ब')}{अ'^२} = \frac{२ (अ'-ब')}{अ'}$$

आणि म्हणून अ'-ब'= $\frac{अ'}{२ \times ६०^२}$: आपल्या आकृतीत अ' १ मीटर किंवा १००० मिलिमीटर आहे;

तेव्हा

$$अ'-ब' = \frac{१०००}{७२००} = \frac{१०}{७२} \text{ किंवा } \frac{१}{७} \text{ मिलिमीटरपेक्षा कमीच.}$$

म्हणजे अर्ध-बृहद्व्यास १ मीटर एवढा घेऊन भली मोठी आकृती काढली तरी कक्षेच्या अर्ध-बृहद्व्यास आणि अर्ध-लघुव्यास यांच्या लांबीतला फरक $\frac{१}{७}$ मिलिमीटरपेक्षा कमी येतो, म्हणजे पेन्सिलीने काढलेल्या रेषेपेक्षाही बारीक येतो! तेव्हा पृथ्वीची कक्षा आपण वर्तुळाकार काढली तर विशेष चुकणार नाही.

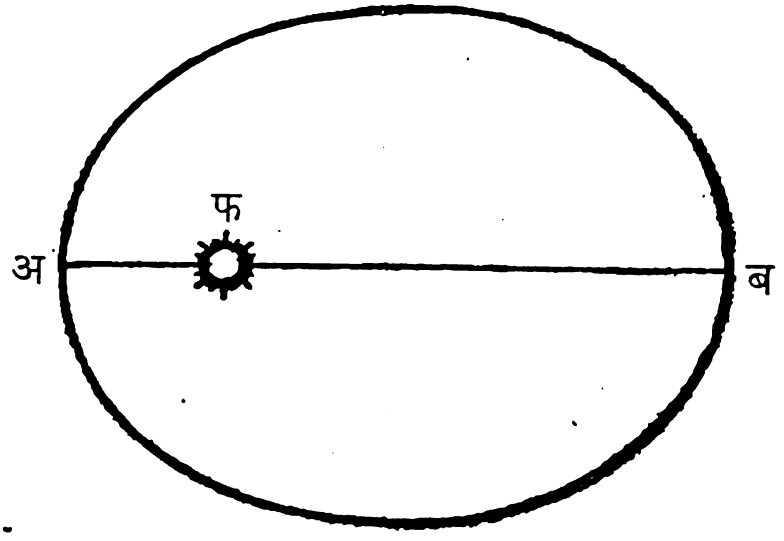
पण ह्या सर्वात सूर्य कुठे बसतो? तो कक्षा-विवृत्ताच्या केंद्रावर आहे; हे केंद्र मध्यापासून किती दूर असेल? म्हणजे आपल्या काल्पनिक आकृतीत **मफ**$_१$ किंवा **मफ**$_२$ यांची लांबी केवढी असेल? याचे गणित साधे आहे.

$$\frac{क'}{अ'} = \frac{१}{६०}, \; क' = \frac{अ'}{६०} = \frac{१००}{६०} \text{ सें.} = १.७ \text{ सेंटीमीटर.}$$

म्हणजे आपल्या आकृतीत सूर्याचा मध्य कक्षेच्या मध्यापासून फक्त १.७ सेंटीमीटर दूर हवा. पण आपण घेतलेल्या प्रमाणानुसार सूर्य मुळी १ सेंटीमीटर व्यासाच्या वर्तुळाने दाखवावा लागेल त्यामुळे सूर्य बरोबर मध्यावर नाही ही गोष्ट एखाद्या चित्रकाराच्या अनुभवी दृष्टीलाच सांगता येईल.

व्यावहारिक निष्कर्ष हा की, आपण पृथ्वीची कक्षा वर्तुळरूपाने दाखवू शकतो आणि त्यात सूर्य मध्याच्या किंचित बाजूला असला पाहिजे.

सूर्याचे स्थान अशा प्रकारे किंचित विषम प्रमाण आहे, याचा पृथ्वीवरील हवामानावर काही परिणाम होतो का? तसा परिणाम शोधून काढण्यासाठी आपण पुन्हा पूर्वीप्रमाणे 'जर-तर'चा आधार घेऊन एक काल्पनिक प्रयोग करून पाहू. समजा पृथ्वीकक्षेची केंद्रच्युती जास्त मोठी, म्हणजे ०.५ आहे. अशा स्थितीत केंद्र अर्ध-व्यासाच्या मध्यबिंदूवर येईल आणि कक्षा अंडाकार दिसू लागेल. सूर्यकुलाच्या प्रमुख ग्रहांपैकी एकाच्याही कक्षेची केंद्रच्युती एवढी मोठी नाही. प्लुटोची कक्षा सर्वात लांबट आहे. तिची केंद्रच्युती ०.२५ आहे. (लघुग्रह आणि धूमकेतू मात्र त्याहून लांबट अशा विवृत्तांत फिरत असतात.).

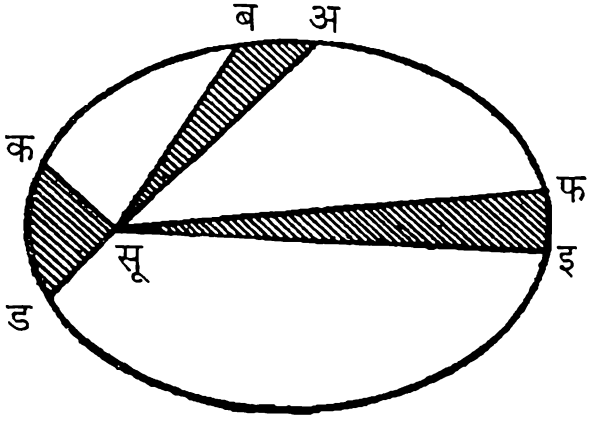


आकृती १७ : पृथ्वीच्या कक्षेची केंद्रच्युती ०.५ असती तर कक्षेचा आकार वर दाखविल्याप्रमाणे झाला असता. सूर्य केंद्र फवर आहे.

जर पृथ्वीला मार्ग जास्त लांबट असता तर–

समजा पृथ्वीची कक्षा बरीच जास्त लांबट झाली आहे आणि तिचे केंद्र अर्ध-बृहद्व्यासाच्या मध्यबिंदूवर आहे. आकृती १७ मध्ये अशी काल्पनिक कक्षा दाखविली आहे. आज घडते त्याप्रमाणेच पृथ्वी १ जानेवारीला अ ह्या

बिंदूवर, म्हणजे सूर्यापासून निकटतम बिंदूवर येईल आणि १ जुलैला ब ह्या बिंदूवर म्हणजे सूर्यापासून दूरतम बिंदूवर येईल. **फ मअ**च्या मध्यबिंदूवर आहे आणि **मअ=मब.** त्यामुळे **फब=३फअ.** म्हणजेच **जानेवारीत** सूर्य जुलैपेक्षा तिप्पट जवळ येईल. जानेवारीमध्ये सूर्यबिंबाचा व्यास जुलैमधील त्याच्या व्यासाहून तिप्पट मोठा असेल आणि जानेवारीत त्यापासून मिळणारी उष्णता जुलैमध्ये मिळणाऱ्या उष्णतेपेक्षा ९पट असेल. (अंतराच्या वर्गसंख्येच्या व्यस्त प्रमाणात.) अशा स्थितीत उत्तर गोलार्धावरील हिवाळ्याचा कितीसा मागमूस राहील? सूर्य आकाशात खाली असेल, दिवस लहान असतील आणि रात्री मोठ्या असतील. पण थंडी जाणवणार नाही. कारण **सूर्याचे सान्निध्य दिवसाच्या लघुतेमुळे भासणारी कमतरता भरून काढील.**



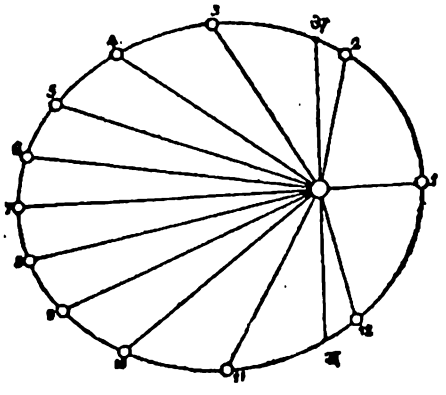
आकृती १८ : केप्लरचा दुसरा नियम दर्शविणारी आकृती. अब, कड आणि इफ हे चाप जर ग्रह समान काळात आक्रमित असेल तर रेषांकित भागांचे क्षेत्रफळ समान असले पाहिजे.

यासोबत परिस्थितीचा **दुसरा एक विशेष** हिशोबात घेतला पाहिजे. हा विशेष केप्लरच्या दुसऱ्या नियमातून उद्भवतो. ह्या नियमानुसार सूर्य व ग्रह यांना जोडणारी काल्पनिक रेषा (चलत्रिज्या) समान काळात समान क्षेत्रफळ आक्रमण करते.

पृथ्वी कक्षेत फिरते तेव्हा तिची चलत्रिज्या (सूर्य व पृथ्वी यांना जोडणारी रेषा) तिच्याबरोबर फिरत जाते आणि विवृत्तामधील काही ठरावीक क्षेत्रफळ आक्रमण करते. केप्लरच्या नियमानुसार समान कालात समान क्षेत्रफळावरून ही चलत्रिज्या फिरली पाहिजे. याचा अर्थ **पृथ्वी सूर्याच्या जास्त जवळ असेल तेव्हा तिची गती अधिक जलद हवी,** कारण त्या स्थितीत चलत्रिज्येची लांबी कमी असते व समान क्षेत्रफळ व्यापायला तिने जास्त मोठ्या कोनांतून फिरले पाहिजे.

आपल्या काल्पनिक कक्षेस हा नियम लावून आपण ठरवितो की, डिसेंबर आणि जानेवारीच्या दरम्यान पृथ्वी सूर्यापासून अत्यंत जवळ येते तेव्हा जून-ऑगस्ट ह्या कालापेक्षा जास्त जलद गतीने फिरत असली पाहिजे. **सारांश उत्तर गोलार्धातला हिवाळा कमी अवधीचा असणार, उलट उन्हाळा फार दीर्घ मुदतीचा असणार.** उन्हाळ्यात सूर्य लांब असल्यामुळे उष्णतेचे प्रमाण कमी असेल. त्याची अशा तऱ्हेने भरपाई होईल.

आपण कल्पिलेल्या परिस्थितीत ऋतूंचे काल कसे असतील याची जास्त अचूक कल्पना आकृती १९ वरून मिळते. आकृतीमधील विवृत्त ही पृथ्वीची नवी कक्षा असून तिची केंद्रच्युती ०.५ आहे. १ ते १२ ह्या आकड्यांनी पृथ्वीच्या मार्गाचे १२ भाग पाडले आहेत. प्रत्येक भाग आक्रमायला पृथ्वीला सारखाच काल लागतो.



आकृती १९ : पृथ्वीची कक्षा जर बऱ्याच लांबट विवृत्ताच्या आकाराची असती तर पृथ्वी सूर्याभोवती वरप्रमाणे फिरली असती. पृथ्वी प्रत्येक दोन क्रमांकनिर्देशित बिंदूंमधील अंतर समान कालात–एक महिन्यात–आक्रमित जाते.

केप्लरच्या नियमानुसार समान कालात चलत्रिज्येने पाडलेले विवृत्ताचे भाग समान क्षेत्रफळाचे हवेत. १ जानेवारीला पृथ्वी १ ह्या बिंदूवर, १ फेब्रुवारीला २ या बिंदूवर, १ मार्चला ३ ह्या बिंदूवर असेल इत्यादी. आकृतीवरून दिसेल की ह्या कक्षेत वसंत संपात (अ) फेब्रुवारीच्या आरंभी येईल आणि शरद संपात डिसेंबरच्या शेवटी. म्हणजे उत्तर गोलार्धात हिवाळा जेमतेम दोन महिन्यांचा असेल. उलट दीर्घ दिनमान आणि उच्च मध्यान्ह-सूर्य यांचा ऋतू वसंत संपातापासून शरद संपातापर्यंत ९।। महिन्यांहून अधिक काळ असेल.

दक्षिण गोलार्धाची स्थिती याउलट असेल. पृथ्वी दैनिक सूर्यापासून दूर असेल आणि सूर्याची उष्णता इतकी कमी होईल त्या वेळी सूर्य बराच खाली

असेल आणि दिनमानही लहान असेल, उलट सूर्याची उष्णता ९ पट वाढेल त्या वेळी सूर्य उंच येईल आणि दिनमान मोठे होईल. **उत्तरेच्या मानाने दक्षिणेचा हिवाळा पुष्कळ अधिक कडक व दीर्घ असेल, उलट उन्हाळा थोडे दिवस असला तरी अगदी असह्य वाटण्याइतका कडक असेल.**

आपल्या ह्या काल्पनिक 'जर'चा **आणखी एक परिणाम** होईल. जानेवारीत पृथ्वीची कक्षा-गती अतिशय जलद झाल्याने मध्यम मध्यान्ह आणि स्पष्ट मध्यान्ह यांत बरेच, म्हणजे काही तासांचे, अंतर पडेल. यामुळे आज जो **मध्यम सौर काल** आपण वापरतो तो **अनुसरणे फारच गैरसोयीचे होईल.**

पृथ्वीच्या कक्षेतील सूर्याच्या केंद्रच्युतीचे काय परिणाम होतात याची यावरून आपणाला कल्पना येईल. एकतर उत्तर गोलार्धातला हिवाळा कमी अवधीचा व सौम्य असेल आणि उन्हाळा दक्षिण गोलार्धापेक्षा जास्त अवधीचा असेल. जानेवारीत सध्या सूर्य जुलैपेक्षा २× $\frac{१}{६०}$ ने म्हणजे $\frac{१}{३०}$ने जवळ असतो. त्यामुळे जानेवारीत सूर्याकडून मिळणारी उष्णता $(\frac{६१}{५९})^२$ ने म्हणजे शेकडा ६ ने जास्त असते. यामुळे उत्तरेकडील हिवाळा थोडा सौम्य होतो. शिवाय उत्तरेतील शरद व शिशिर मिळून दक्षिणेतील त्याच ऋतूंपेक्षा आठ दिवसांनी कमी भरतात. दक्षिण ध्रुवावरचे बर्फ अधिक जाड आहे याचे कारण हे असू शकेल. उत्तर आणि दक्षिण गोलार्धातील ऋतूंचा काल बरोबर केवढा असतो हे खालील कोष्टकांत दिले आहे :

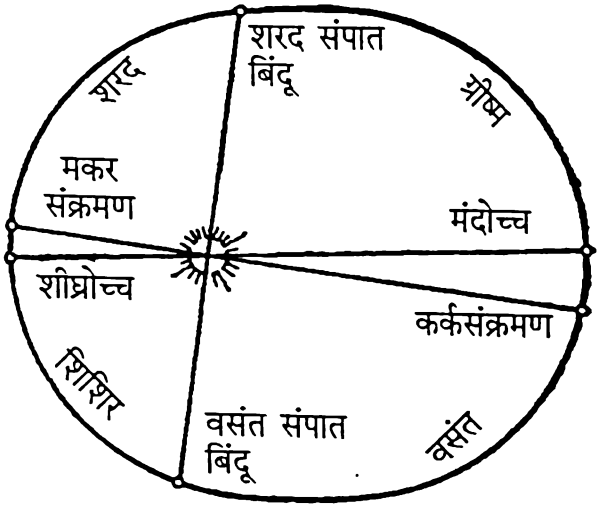
उत्तर गोलार्ध	अवधी		दक्षिण गोलार्ध
वसंत	९२ दिवस	१९ तास	शरद
ग्रीष्म	९३ दिवस	१५ तास	शिशिर
शरद	८९ दिवस	१९ तास	वसंत
शिशिर	८९ दिवस		ग्रीष्म

यावरून दिसेल की उत्तरेत ग्रीष्म शिशिरापेक्षा ४.६ दिवसांनी आणि वसंत शरदापेक्षा ३ दिवसांनी मोठा असतो.

उत्तर गोलार्धाला हा फायदा अनंत काळ मिळणार नाही. पृथ्वीकक्षेचा बृहद्-व्यास अंतरिक्षातील आपले स्थान हळूहळू बदलत आहे आणि त्यामुळे सूर्यापासून निकटतम आणि दूरतम असणारे बिंदू बदलत आहेत. त्या गतीचा

एक पर्यय २१,००० वर्षांत पूर्ण होत असतो. आज उत्तर गोलार्धाला जो वरील लाभ मिळतो तो दक्षिण गोलार्धाला इ.स.१०७० सालाच्या आसपास मिळत असेल, असा निष्कर्ष गणिताच्या साहाय्याने काढण्यात आला आहे.

तसेच पृथ्वीकक्षेची केंद्रच्युती स्थिर नाही. काळाच्या ओघात तीदेखील बदलत जाते. तिचे मान कमीतकमी ०.००३ म्हणजे जवळ जवळ शून्यावर जाते, त्या वेळी कक्षा जवळ जवळ पूर्ण वर्तुळाकार होते. हे मान जास्तीतजास्त ०.०७७ पर्यंत जाते, त्या वेळी पृथ्वीची कक्षा आजच्या मंगळाच्या कक्षेसारखी होईल. सध्या केंद्रच्युती कमी होत आहे व ती आणखी २४००० वर्षे कमी होत जाऊन ०.००३ वर जाईल आणि नंतर ४०००० वर्षे वाढत जाईल. अर्थात हे बदल एवढे हळूहळू होत आहेत की त्यांचे महत्त्व केवळ तात्त्विक आहे.



आकृती २० : पृथ्वीच्या सूर्यप्रदक्षिणा

सूर्य अधिक जवळ केव्हा, मध्यान्ही की संध्याकाळी?

जर सूर्य मध्य धरून वर्तुळाकार कक्षेत पृथ्वी फिरत असती तर याचे उत्तर देणे अगदी सोपे झाले असते. मध्यान्ह वेळी पृथ्वीच्या अक्षभ्रमणामुळे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरच्या अनुवर्ती बिंदूंची सूर्याशी युती होते व त्या वेळी आपण सूर्याच्या अधिक जवळ आलो असतो. जास्तीतजास्त ६४०० किलोमीटर म्हणजे पृथ्वीच्या त्रिज्येएवढा फरक विषुववृत्तावरच्या बिंदूवर पडला असता.

परंतु पृथ्वीची कक्षा विवृत्ताकार असून सूर्य तिच्या केंद्रस्थानी आहे. (आकृती २० पहा.) यामुळे कधी पृथ्वी सूर्याच्या जास्त जवळ असते तर कधी जास्त दूर असते. १ जानेवारी ते १ जुलै दरम्यान सहा महिने पृथ्वी सूर्यापासून

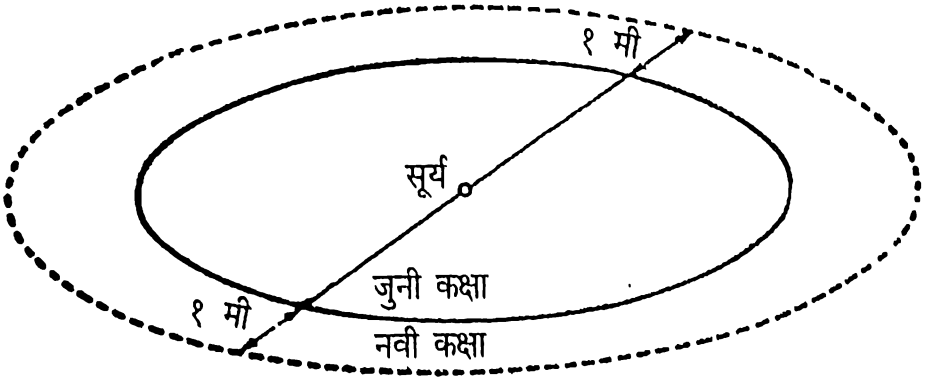
दूर जात असते, नंतरच्या सहा महिन्यांत ती सूर्याच्या जवळ जाते. दूरतम आणि निकटतम अंतरांतील फरक २× $\frac{१}{६०}$ × १५०,०००,००० म्हणजे ५० लक्ष किलोमीटर आहे.

हा अंतरांतील बदल रोजचा सरासरी २८००० किलोमीटर असतो. यामुळे मध्यान्ह आणि सूर्यास्त दरम्यान ($\frac{१}{४}$ दिवसात) सूर्यापासूनचे अंतर सरासरी ७५०० किलोमीटरने बदलते. अर्थात पृथ्वीच्या अक्षभ्रमणामुळे पडणाऱ्या अंतरापेक्षा हा बदल जास्त आहे.

तेव्हा आपल्या प्रश्नाचे उत्तर : जानेवारी ते जुलै दरम्यान आपण सूर्यास्तापेक्षा मध्यान्हाच्या वेळी सूर्याच्या अधिक जवळ असतो; जुलै ते जानेवारी या काळात सूर्यास्तसमयी आपण अधिक जवळ असतो.

एक मीटर वाढवा!

प्रश्न : पृथ्वी सूर्यापासून १५०,०००,००० किलोमीटर अंतरावर भ्रमण करीत आहे. समजा हे अंतर एक मीटरने वाढविले तर तसे केल्याने पृथ्वीचा सूर्याभोवतालचा मार्ग किती मोठा होईल आणि पृथ्वीच्या कक्षाभ्रमणाचा वेग आहे तेवढाच राहिल्यास **वर्षाचे मान कितीसे वाढेल?** (आकृती २१ पहा.)



आकृती २१ : आपला ग्रह सूर्यापासून १ मीटर आणखी लांब गेला तर कक्षेची लांबी किती वाढेल? (उत्तरासाठी पाठ पहा.)

उत्तर : एक मीटर अंतर काही विशेष नाही. पण पृथ्वीच्या कक्षेची प्रचंड लांबी लक्षात घेता आपल्याला असे वाटण्याचा संभव आहे की अंतर एवढे थोडे वाढविले तरी कक्षेची लांबी बरीच वाढेल आणि त्याचा वर्षमानावर परिणाम होईल.

परंतु हिशेब करून पाहिल्यास उत्तर एवढे लहान येते की आपल्याला आपले गणितच कुठेतरी चुकले असावेसे वाटेल. परंतु आश्चर्य वाटण्याची काही गरज नाही, फरक खरोखरच फार थोडा आहे. दोन एकमध्य वर्तुळांच्या परिघांतला फरक त्यांच्या त्रिज्येवर अवलंबून नसतो, दोहोंच्या त्रिज्यांमधील फरकावर अवलंबून असतो. वर्तुळे जमिनीवर काढा किंवा अंतरिक्षात असू द्या, दोहोंच्या त्रिज्यात एक मीटरचा फरक असला तर उत्तर सारखेच येईल. साध्या गणितावरून हे लक्षात येईल. पृथ्वीच्या कक्षेची त्रिज्या **त्रि** असेल तर तिची लांबी २π **त्रि** एवढी होईल. जर त्रिज्या १ मीटरने वाढविली तर नव्या कक्षेची लांबा २π (**त्रि** + १)= २π **त्रि** + २πएवढी होईल. यामुळे कक्षेची लांबी वाढते ती फक्त २π म्हणजे ६.२८ मीटरने आणि ती त्रिज्येच्या लांबीवर मुळीच अवलंबून नाही.

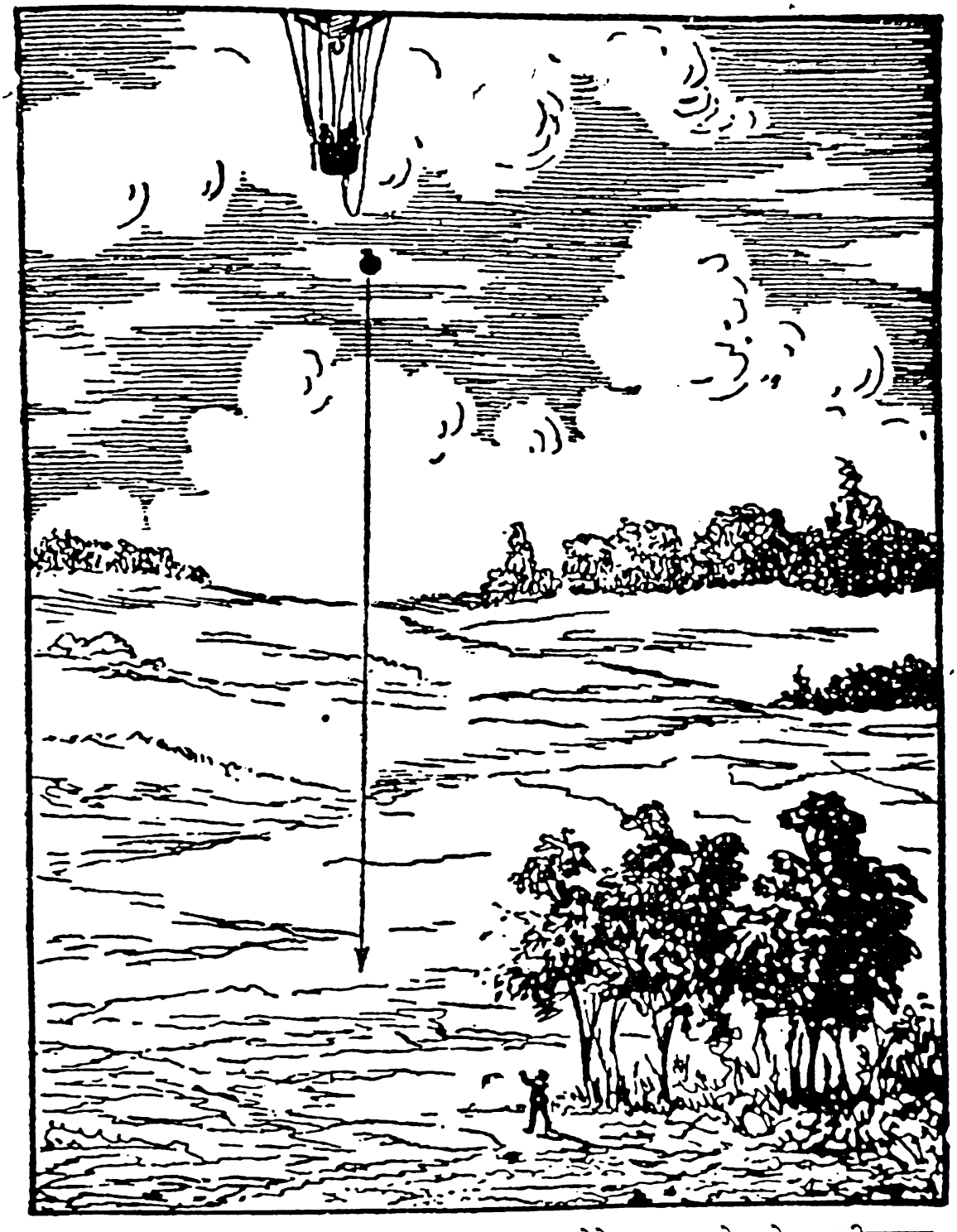
म्हणून पृथ्वीचा सूर्याभोवतालचा मार्ग १ मीटरने जास्त दूर गेला, तरी त्याची लांबी जेमतेम ६। मीटर एवढीच वाढेल. वर्षमानावर याचा परिणाम शून्यवत होईल, कारण पृथ्वीचा कक्षा-वेग दर सेकंदास ३०,००० मीटर आहे. कक्षेची लांबी ६। मीटर वाढल्यास वर्षात $\frac{१}{५०००}$ सेकंदांचीच भर पडेल. अर्थात ते आपल्या कधीच लक्षात येणार नाही.

निरनिराळ्या दृष्टिकोणांतून

हातातून एखादी वस्तू पडली तर ती आपल्याला सरळ खाली पडताना दिसते. दुसऱ्या कोणी जर ती सरळ रषेत पडत नाही असे म्हटले तर तुम्हाला ते विचित्र वाटेल. परंतु पृथ्वीच्या गतीत आपल्याबरोबर सहभागी नसणारा कोणीही निरीक्षक तसेच म्हणेल.

अशा एका निरीक्षकाच्या नजरेतून आपण अशी खाली पडणारी वस्तू पाहत आहोत अशी कल्पना करा. आकृती २२ मध्ये एक जड गोळा ५०० मीटर उंचीवरून खाली पडताना दाखविला आहे. पडताना तो स्वाभाविकच पृथ्वीच्या सर्व गतीतही सहभागी होत असतो. वस्तुतः पडणाऱ्या वस्तूच्या ह्या अन्य गती फारच जास्त जलद असतात. परंतु त्या आपल्याला जाणवत नाहीत याचे कारण आपण त्यात सहभागी असतो. जर पृथ्वीच्या गतीपैकी एक सोडून बाकी सर्वांपासून आपण स्वतःला मुक्त करू शकलो, तर पडणारी वस्तू सरळ खाली पडत नाही, वेगळ्याच मार्गाने पडते असे आपणाला आढळून येईल.

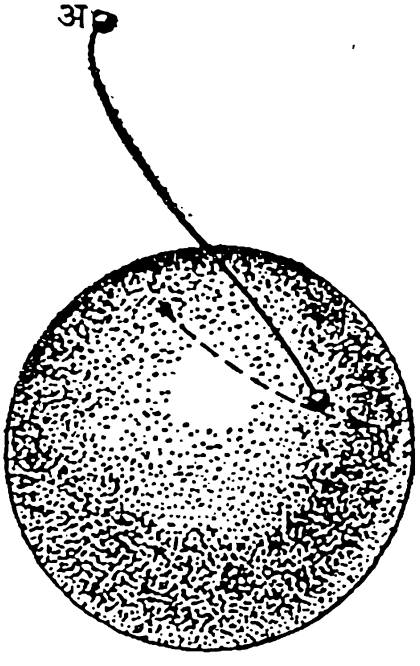
समजा, आपण पृथ्वीऐवजी चंद्रावरून ह्या पडणाऱ्या वस्तूकडे पाहत आहोत. चंद्र पृथ्वीबरोबर सूर्याभोवती परिभ्रमण करीत असतो, परंतु पृथ्वीच्या परिवलन गतीत तो भाग घेत नाही. यामुळे चंद्रावरून पाहताना ती वस्तू दोन प्रकारच्या गतीने जाताना दिसते, एक सरळ खाली पडण्याची गती आणि दुसरी



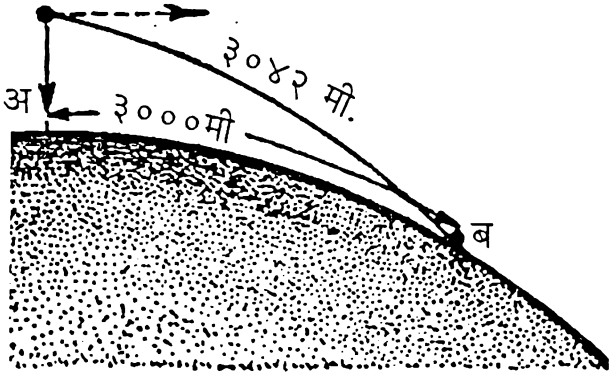
आकृती २२ : अनिर्बंध खाली पडणारी वस्तू सरळ रेषेत पडत आहे असेच पृथ्वीवरच्या कोणाही माणसास दिसेल.

पृथ्वीच्या सपाटीकडे पूर्व-गामी स्पर्शरिषेने नेणारी गती. एकसमयावच्छेदे घडणाऱ्या या दोन गतिक्रियांचा परिणाम गतिशास्त्राच्या नियमानुसार घडतो. त्यातली एक गती स्थिर आहे व दुसरी बदलती आहे, यामुळे परिणामी किंवा फलित गती ही वक्राकारच असली पाहिजे. आकृती २३ मध्ये हा **वक्रपथ** दाखविला आहे. चंद्रावरच्या माणसाच्या सूक्ष्म नजरेस गोळा पृथ्वीवर ह्या मार्गाने पडताना दिसेल.

आता एक पाऊल पुढे जाऊन **अशी कल्पना करा की आपण सूर्यावर आहोत** आणि एका अत्यंत सामर्थ्यवान दुर्बिणीतून ह्या जड गोळ्यांचे अध:पतन न्याहाळीत आहोत. सूर्यावर असल्यामुळे पृथ्वीचे परिवलन आणि परिभ्रमण दोहोंचा आपल्याशी संबंध येत नाही. यामुळे तेथून आपल्याला पडणाऱ्या गोळ्याच्या गतीचे तीन वेगवेगळे प्रकार एकाच वेळी दिसतील : १) पृथ्वीसपाटीवर सरळ खाली पतन २) पृथ्वीसपाटीकडे, पूर्वगामी स्पर्शरिषेवरून गती आणि ३) सूर्याभोवतालची गती.



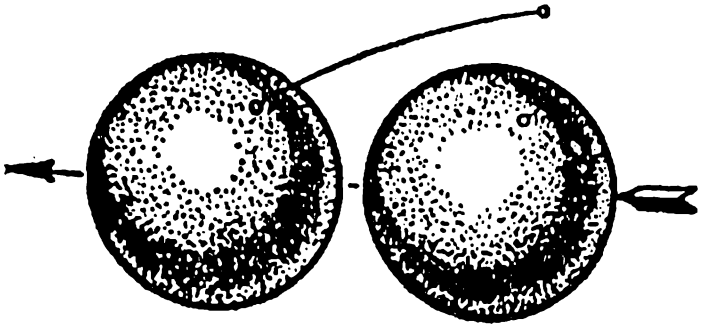
आकृती २३
चंद्रावरच्या माणसाला पडणाऱ्या वस्तूचा मार्ग वक्राकार दिसेल.



आकृती २४
पृथ्वीच्या परिवलन गतीमुळे भूपृष्ठावरील बिंदू वर्तुळाकार फिरत असतात; अनिर्बंध खाली पडणारी वस्तू पडत असतानाच ह्या वर्तुळाकार गतिपथाच्या स्पर्शरिषेतही मार्गक्रमण करीत असते.

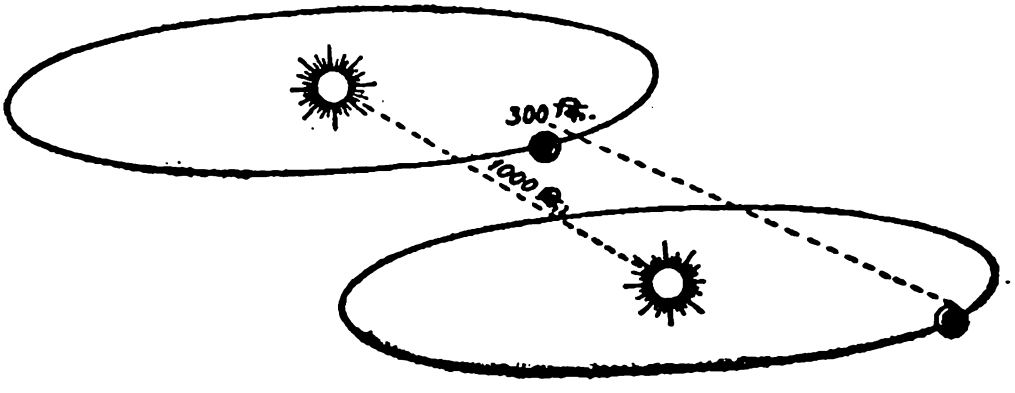
पहिल्या गतीत गोळा ०.५ किलोमीटर पडतो व त्यास १० सेकंद लागतात. ह्याच १० सेकंदांत दुसऱ्या गतीमुळे (मुंबईच्या अक्षांशावर) तो गोळा ०.४४×१०= ४.४ किलोमीटर पूर्वेकडे जाईल; तिसरी गती सर्वात जलद

म्हणजे दर सेकंदास ३० किलोमीटर असल्याकारणाने, तो ह्या गतीमुळे पृथ्वीच्या कक्षेत ३०० किलोमीटर पुढे जाईल. हे अंतर एवढे मोठे आहे की पहिली दोन अंतरे (०.५ किलोमीटर खाली आणि ४.४ किलोमीटर स्पर्शरिषेने) लक्षात येणेच कठीण; सूर्यावरच्या आपल्या स्थळावरून तेच डोळ्यांत भरेल. मग आपल्याला काय दिसेल? साधारण आकृती २५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे (आकृती



आकृती २५ : आकृती २४ मधील पडणाऱ्या वस्तूचा मार्ग सूर्यावरच्या निरीक्षकास कसा दिसेल (अंतरे व आकार प्रमाणबद्ध नाहीत.)

अर्थात प्रमाणशीर नाही.) पृथ्वी डावीकडे जाते, तेवढ्यात उजव्या स्थानी किंचित वर असलेला गोळा पृथ्वी डाव्या स्थानी पोचल्यावर खालच्या बिंदूवर पडतो. वर म्हटल्याप्रमाणे आकृती प्रमाणशीर नाही, पृथ्वीचा गोळा १२७५७ किलोमीटर व्यासाचा आहे हे लक्षात घेता आकृतीत चित्रकाराने दाखविलेला स्थानबदल १४००० किलोमीटर होईल. प्रत्यक्षात तो ३०० च किलोमीटर आहे.



आकृती २६ : दूरच्या ताऱ्यावरील निरीक्षकाला ती वस्तू पृथ्वीवर पडताना कशी दिसेल?

आता आपण आणखी एक पाऊल पुढे जाऊ आणि सूर्याच्या गतीशीदेखील काही संबंध नाही अशा ठिकाणी **एखाद्या दूरच्या ताऱ्यावर आपण आहोत अशी कल्पना करू.** तेथून आपल्याला वरील तिहींव्यतिरिक्त, पडणाऱ्या गोळ्याची

आपल्या ताऱ्यास सापेक्ष अशी, चौथी गती दिसेल. ह्या चौथ्या गतीचे प्रमाण आणि दिशा, आपण जो तारा निवडला असेल त्यावर अवलंबून आहे म्हणजे त्या ताऱ्याच्या दृष्टाने समग्र सूर्यमंडळाची जी गती असेल त्यावर अवलंबून आहे.

आकृती २६ मध्ये अशी एक संभाव्य घटना दाखविली आहे; निवडलेल्या ताऱ्याच्या दृष्टीने सूर्यमंडळ क्रांतिवृत्ताशी लघुकोन करणाऱ्या दिशेने, दर सेकंदास १००किलोमीटर एवढ्या वेगाने जात आहे असे त्यात गृहीत धरले आहे. (ताऱ्यांचे वेग या कोटीतले असतात.). या गतीमुळे आपला गोळा दहा सेकंदास १००० किलोमीटर जाईल आणि स्वाभाविकच त्याच्या गतिपंथात आणखी गुंतागुंत होईल. दुसऱ्या एखाद्या ताऱ्यावरून निरीक्षण केल्यास ह्या पथाचे परिमाण आणि दिशा आणखी भिन्न असल्याचे आढळेल.

त्याच्याही पुढे आपण जाऊ शकतो; **विश्वातील इतर तारामंडळांच्या दृष्टीने** आपले तारामंडळ, आपली आकाशगंगा मोठ्या वेगाने फिरत आहे; आकाशगंगेच्या पलीकडे असलेल्या निरीक्षकाला गोळ्याचे पृथ्वीगमन कसे दिसेल याचीही कल्पना आपणाला करता येईल. पण तेवढे करण्याची गरज नाही. भिन्न भिन्न निरीक्षणस्थलांवरून पाहिल्यास एकाच अधोगामी वस्तूची गती भिन्न भिन्न प्रकारची दिसेल हे एव्हाना वाचकाला समजले असेलच.

अपार्थिव काल

तुम्ही एक तास काम केले व एक तास विश्रांती घेतलीत. हे दोन कालावधी सारखेच आहेत काय? वेळ चांगल्या घड्याळाने मोजली असल्यास या प्रश्नाचे उत्तर बहुतेक लोक नि:संशय होकारार्थी देतील. पण आपण कोणते घड्याळ वापरायचे? अर्थात ज्योति:शास्त्रीय निरीक्षणाबरहुकूम चालणारे घड्याळ किंवा दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे तर निरपेक्षतया समान कालावधीत समान कोनातून फिरणाऱ्या, म्हणजे आदर्श स्थिरतेने फिरणाऱ्या गोलाच्या गतीशी जुळणारे घड्याळ.

पण पृथ्वीचे परिवलन एका गतीने होत असते हे तरी कशावरून, असा प्रश्न तुम्ही विचारू शकता. आपल्या ग्रहाची लागोपाठ होणारी दोन अक्षभ्रमणे सारख्याच कालावधीत होत असतात याची तरी खात्री का बाळगावी? पृथ्वीचे परिवलन हेच मुळी कालाचे माप आहे तोवर याचा पडताळा देता येणार नाही.

स्थिर गतीच्या ह्या जुन्या आदर्शाऐवजी दुसरा आदर्श वापरणे ज्योतिःशास्त्रज्ञांना अलीकडे काही बाबतीत उपयुक्त आढळून आले आहे. याची कारणे आणि परिणाम पुढीलप्रमाणे आहेत :

बारकाईने अभ्यास केल्यानंतर असे आढळून आले की, काही आकाशस्थ ज्योती मार्कक्रमण करताना सैद्धान्तिक कल्पनांना अनुसरून वागत नव्हत्या आणि त्यांच्या गतीत हा जो फरक पडत होता त्याचा आकाशीय गतिशास्त्राच्या नियमांनुसार काही उलगडा होईना. आपला चंद्र, गुरूचे १ व २ क्रमांकांचे उपग्रह, बुध, एवढेच नव्हे तर सूर्याची **भासमान** वार्षिक गती (म्हणजे आपल्या पृथ्वीची कक्षागती) यात काही सूक्ष्म विकृती आढळल्या, पण ह्या विकृतींचे काही कारण दिसेना. उदाहरणार्थ, चंद्र काही कालखंडात त्याच्या गणितलब्ध मार्गापासून $\frac{१}{६}$ कला एवढा ढळतो, तर सूर्य १ विकला एवढा ढळतो. ह्या सर्व असंगतीचा अभ्यास करता त्यात एक सामान्य वैशिष्ट्य असल्याचे दिसून आले. ते वैशिष्ट्य असे की, एकाच कालखंडात त्या सर्वांच्या गतीचा वेग वाढतो आणि नंतर कमी होतो. स्वाभाविकच ह्या सर्व विकृतींमागे एकच सर्वसामान्य कारण असावे असे अनुमान करण्यात आले.

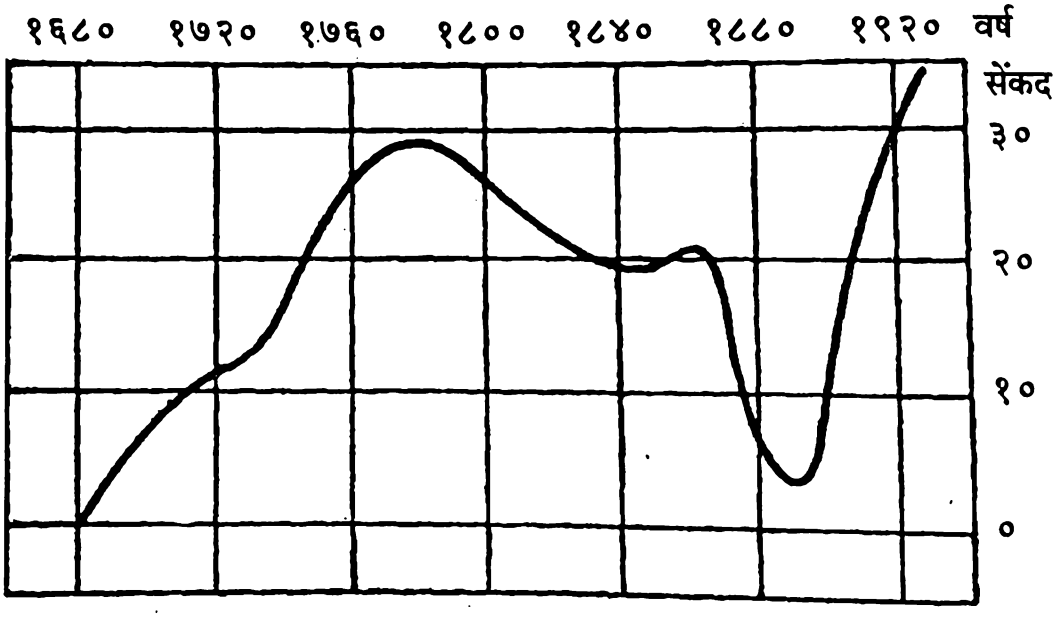
ह्या सर्व विकृतींच्या मुळाशी आपल्या निसर्गदत्त घड्याळाच्या चुका तर नसतील? पृथ्वीचे परिवलन हाच स्थिर गतीचा आदर्श मानण्याची चूक केल्याने तर असे घडत नसेल?

यामुळे हे 'पार्थिव' घड्याळ बदलण्याचा प्रश्न उपस्थित झाला. ते तात्पुरते सोडून देण्यात आले आणि गुरूचा एखादा उपग्रह, चंद्र किंवा बुध यांपैकी एकाच्या गतीवर आधारलेले निसर्गदत्त कालमापक घेऊन वरील गतीचे मापन करण्यात आले. तसे करताच उपरोल्लिखित गोलांच्या गतीमधील भासमान विकृती नाहीशा झाल्या आणि त्यात समाधानकारक अशा नियमबद्धपणा दिसून आला. उलट ह्या नव्या कालमापकाच्या आधारे पृथ्वीचे परिवलन मात्र विषम असल्याचे आढळले. काही वर्षे ते मंद होत जाते, पुन्हा काही वर्षे त्याचा वेग वाढतो, आणि मग पुन्हा ते मंद होते.

१८९७ मध्ये दिवस, आधीच्या काही वर्षांच्या मानाने, ०.००३५ सेकंदाने मोठा होता; पुन्हा १९१८ साली अगोदरच्या २१ वर्षांच्या मानाने दिवस तेवढ्याच अवधीने लहान होता. आजचा दिवस १०० वर्षांपूर्वीच्या दिवसाहून साधारण ०.००२ सेकंदाने मोठा आहे.

ह्या अर्थाने आपण असे म्हणू शकतो की पृथ्वीचे दैनिक भ्रमण तिच्या इतर गतीशी तुलना करता स्थिर नाही. तसेच आपल्या ग्रहमालेतील इतर ज्या गती रूढ संकेतानुसार स्थिर मानल्या जातात त्यांच्याशीही तुलना करता ते स्थिर नाही.

अर्थात तिच्या गतीतल्या ह्या विकाराचे परिमाण अतिशय सूक्ष्म आहे; १६८० ते १७८० ह्या शंभर वर्षांत पृथ्वीचे परिवलन मंद गतीने झाले आणि आपल्या 'पार्थिव' कालात व 'अन्य' कालात तेवढ्या शतकांत एकूण ३० सेकंदांचा फरक पडला; पुढे १९व्या शतकाच्या मध्यापावेतो दिवस लहान झाले आणि त्यापैकी १० सेकंद भरून निघाले आणि चालू शतकाच्या आरंभापर्यंत आणखी २० सेकंद भरून निघाले. परंतु चालू शतकाच्या पहिल्या २५ वर्षांत पुन्हा पृथ्वीचा वेग मंदावला, दिवस मोठा होत गेला आणि पुन्हा जवळ जवळ ३० सेकंदांचा फरक साचला.



आकृती २७ : सन १६८० ते १९२० च्या दरम्यान पृथ्वी स्थिर गतीपासून केव्हा व किती ढळली हे वरील आराखड्यातील वक्ररेषा दाखविते. पृथ्वीचे परिवलन स्थिर गतीने होत असते तर ती गती ह्या आराखड्यात सरळ रेषा म्हणून रेखाटली गेली असती. पृथ्वीचे परिवलन मंद होऊन दिवस मोठे झाले, ते ह्या वक्ररेषेत उंचवट्याच्या रूपांत दिसते आणि परिवलनाचा वेग वाढून दिवस लहान झाले ते त्यात खड्ड्यांच्या रूपात दिसते.

हा फरक पडण्याची अनेक कारणे मांडण्यात आली आहेत, उदाहरणार्थ चांद्र भरती, पृथ्वीच्या व्यासांत होणारे बदल,* इत्यादी.

ह्या चमत्काराचा सर्वांगीण अभ्यास झाल्यास महत्त्वाचे शोध लागण्याची बरीच शक्यता आहे.

मास आणि वर्ष कुठे सुरू होतात?

मुंबईत रात्रीचे १२ वाजले आहेत आणि नव्या वर्षाची सुरुवात झाली आहे. पण मुंबईच्या पश्चिमेला अद्याप ३१ डिसेंबर हीच तारीख आहे तर पूर्वेला जानेवारी १ तारीख आधीच सुरू झालेली आहे. परंतु आपल्या गोलाकार पृथ्वीवर पूर्व-पश्चिमेची भेट कुठेतरी झालीच पाहिजे. याचा अर्थ १ तारखेला ३१ तारखेपासून, जानेवारीला डिसेंबरपासून आणि नव्या वर्षाला जुन्या वर्षापासून विभक्त करणारी सीमारेषा कुठेतरी असलीच पाहिजे.

हिलाच **आंतरराष्ट्रीय दिनांक रेषा** म्हणतात. ही रेषा साधारण १८०° च्या याम्योत्तर रेषेवरून, बेरिंगच्या सामुद्रधुनींतून आणि प्रशांत महासागरातून जाते.

प्रशांत महासागराच्या निर्जन विस्तारास भेदून जाणारी ही जी काल्पनिक रेषा आहे त्या रेषेवरच आपल्या पृथ्वीवर दिवस, मास आणि वर्ष प्रथम बदलतात. आपल्या पंचांगाचा उंबरठा असे ह्या रेषेला म्हणता येईल. हा आहे नूतन वर्षाचा पाळणा! महिन्याचा प्रत्येक दिवस इतरत्र कुठल्याही ठिकाणापेक्षा येथे आधी सुरू होतो; येथून तो पश्चिमेकडे पसरत जातो; पृथ्वीची प्रदक्षिणा करतो आणि पुन्हा आपल्या जन्मस्थानी परतून नाहीसा होतो.

महिन्याच्या या नवजात दिनाचे स्वागत करण्याचा अग्रमान सोविएत युनियनचा आहे. बेरिंगच्या सामुद्रधुनीत जन्मणाऱ्या नूतन दिवसाचे स्वागत जगांत प्रथम देझनेव भूशिरावर होते आणि तेथून त्याचा जगभरचा प्रवास सुरू होतो आणि २४ तास आपली कामगिरी बजावल्यावर याच ठिकाणी, म्हणजे सोविएत आशियाच्या पूर्वतम टोकास त्याची समाप्ती होते. अशा प्रकारे आंतरराष्ट्रीय दिनांक रेषेवर दिवस बदलतात. ही रेषा मान्यता पावण्यापूर्वी ज्या नाविकांनी प्रथम पृथ्वीप्रदक्षिणा केली, ते दिवस मोजण्यात चुकत असत. मॅगेलनने पृथ्वीभोवताली

---

* पृथ्वीचा व्यास आपणाला १०० मीटरच्या मर्यादेतच माहीत आहे. यामुळे त्यात सूक्ष्म बदल झाल्यास प्रत्यक्ष मोजमापाने तो लक्षात न येणे शक्य आहे. दिवसमानात जो फरक पडत असल्याचे वर सांगितले आहे तेवढा फरक पृथ्वीचा व्यास थोड्या मीटरने कमीजास्त झाल्यासही पडू शकतो.

पहिली सफर केली तेव्हा त्याच्याबरोबर असलेल्या अंतोनियो पिगाफेता याने सांगितलेली सत्यकथा खालीलप्रमाणे आहे :

"बुधवारी ता. १९ जुलै रोजी आम्हाला केप व्हर्दे बेटे दिसली आणि आम्ही नांगर टाकला... आमच्या नाविक रोजनिशा बरोबर आहेत की नाही हे जाणून घेण्यासाठी आम्ही त्या दिवशी कोणता वार आहे याची चौकशी केली. तो गुरुवार असल्याचे आम्हाला सांगण्यात आले. आम्हाला त्याचे आश्चर्य वाटले कारण आमच्या रोजनिशीप्रमाणे तो बुधवार होता. आम्ही सर्वांनी दिवस मोजण्यात एका दिवसाची सारखीच चूक केली असेल हे संभवनीय वाटेना...

"पुढे आम्हाला कळले की आमच्या मोजण्यात मुळीच चूक नव्हती. सतत पश्चिमेकडे प्रवास करताना आम्ही सूर्याचा मार्ग अनुसरत होतो आणि जेव्हा आम्ही आमच्या प्रयाणबिंदूवर परत आलो तेव्हा स्वाभाविकच तिथेच राहिलेल्या लोकांपेक्षा आमच्या हिशेबी २४ तास अधिक शिल्लक हवेत. जरा विचार केल्यास कोणीही मान्य करील."

आता **दिनांक रेषा ओलांडताना नाविक लोक काय करतात?** चूक होऊ नये म्हणून पूर्वेकडून पश्चिमेकडे जाताना ते एक दिवस 'सोडतात' आणि परत येते वेळी एक दिवस जास्त धरतात. '८० दिवसांत जगाची सफर' ह्या जूल व्हर्नच्या कादंबरीतला प्रवासी शनिवारी परत आला असताना आपण रविवारी आलो असे समजतो, पण त्या काळात तसे होणे शक्य नव्हते. दिनांक रेषा मान्यता पावली नव्हती अशा मॅगेलानच्या काळात तशी गोष्ट घडणे शक्य होते. 'एका आठवड्यात तीन रविवार' यात एडगर ॲलन पो याने दोन नाविकांची गोष्ट सांगितली आहे; त्यातला एक पूर्वेकडून पश्चिमेकडे जात जगाची सफर करतो, दुसरा त्याच्या उलट दिशेने तसे करतो. घरी परतल्यावर दोघांची गाठ पडते, तेव्हा एकाच्या मते रविवार काल झाला, दुसऱ्याच्या मते रविवार उद्या यावयाचा होता, तर जमिनीवरच राहिलेल्या त्यांच्या मित्राचा आग्रह होता की आजच रविवार आहे! अर्थात अशी गोष्ट सध्याच्या काळात शक्य नाही. म्हणून जगाची सफर करताना कॅलेंडरशी भांडायचे नसेल तर पूर्वेकडे जाणाऱ्याने दिवस मोजताना जरा थांबून सूर्याला बरोबर येऊ दिले पाहिजे, म्हणजे एकच वार दोनदा मोजला पाहिजे; उलट पश्चिमेस जाणाऱ्याने सूर्याच्या मागे आपण राहू नये म्हणून मधे एक दिवस सोडून दिला पाहिजे.

ही गोष्ट अगदी सामान्य आहे, पण मॅगेलाननंतर चार शतके लोटली तरी ती प्रत्येकाला माहीत असतेच असे नाही.

फेब्रुवारी महिन्यात शुक्रवार किती?

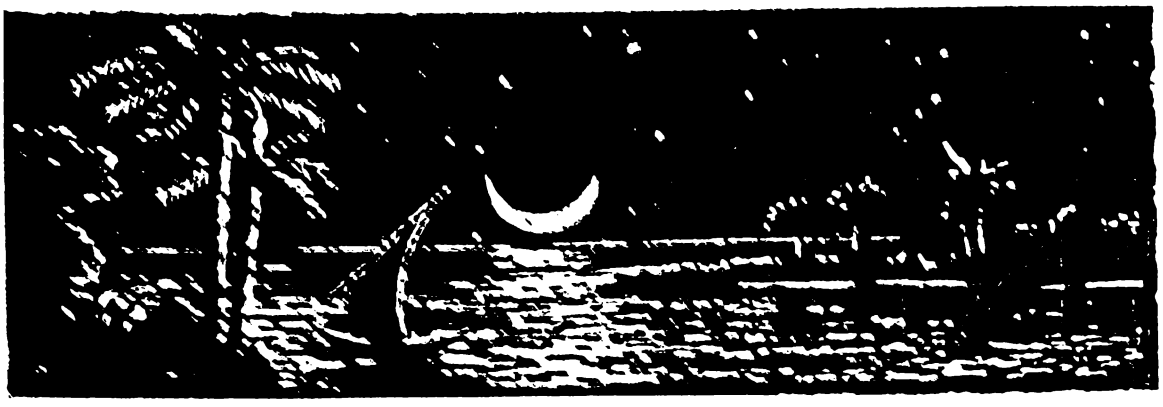
प्रश्न : फेब्रुवारी महिन्यात जास्तीतजास्त आणि कमीतकमी शुक्रवार किती असू शकतील?

उत्तर : नेहमीचे उत्तर आहे जास्तीतजास्त पाच आणि कमीतकमी चार. एखाद्या लीप वर्षात (वृद्धी वर्षात) ता. १ फेब्रुवारीलाच शुक्रवार असेल तर २९ फेब्रुवारीसही शुक्रवार येईल आणि त्या महिन्यात एकूण पाच शुक्रवार होतील.

परंतु फेब्रुवारी महिन्यात त्याहून दुप्पट शुक्रवार मोजणेदेखील शक्य आहे. समजा एक जहाज दर शुक्रवारी सायबेरियाचा किनारा सोडून अलास्काला जाते. आता ज्या वृद्धी वर्षात १ फेब्रुवारी शुक्रवारी येते त्या महिन्यात जहाजाचा कप्तान किती शुक्रवारांची नोंद करील? तो दर शुक्रवारीच दिनांक रेषा ओलांडतो आणि तसे करताना पश्चिमेकडून पूर्वेकडे जात असतो, त्या अर्थी तो दर आठवड्यात दोन शुक्रवार धरील व एकूण महिन्यात तो १० शुक्रवार मोजील. उलट दर गुरुवारी अलास्का सोडून सायबेरियास जाणाऱ्या जहाजाचा कप्तान आपल्या हिशोबात शुक्रवार सोडून देईल आणि परिणामी सबंध महिन्यात त्याच्या दृष्टीने एकही शुक्रवार असणार नाही.

म्हणजे अचूक उत्तर हे की फेब्रुवारी महिन्यात शुक्रवार जास्तीतजास्त १० असू शकतात आणि कमीतकमी शून्य!

❑❑❑



प्रकरण दुसरे

चंद्र आणि त्याची गती

चंद्राची कोर

आकाशात कोर पाहून तिचे कौतुक करणाऱ्या प्रत्येकाला ही **कोर शुक्ल पक्षातली** आहे की **की कृष्ण पक्षातली** हे अचूक सांगता येईलच असे नाही. दोहोंतील फरक म्हणजे त्यांचा फुगवटा विरुद्ध बाजूंना असतो. उत्तर गोलार्धात शुक्ल पक्षातील कोरीचा बर्हिगोल भाग नेहमी उजवीकडे असतो आणि कृष्ण पक्षात तोच भाग डावीकडे असतो. ही गोष्ट नक्की लक्षात कशी ठेवायची?

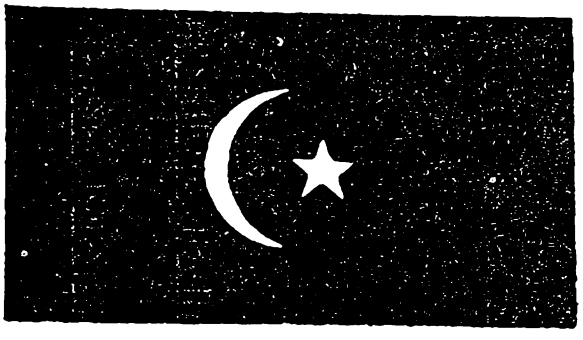
कोरीच्या दोन टोकांना (शृंगांना) जोडणारी एक काल्पनिक सरळ रेषा काढा. लॅटीन लिपीमधील d किंवा p हे अक्षर तयार होईल. हे डर्नियर (अंतिम) या लॅटिन शब्दाचे आद्याक्षर आहे म्हणून ते अक्षर आल्यास ही चंद्राची अंतिम कला समजावी म्हणजे कृष्ण पक्षातली कोर समजावी. p हे प्रिमीयर (प्रथम) ह्या लॅटीन शब्दाचे आद्याक्षर आहे म्हणून ते अक्षर आल्यास चंद्राची प्रथम कला किंवा शुक्ल पक्षातला नवा चंद्र समजावा. अशा तऱ्हेने चंद्राचा आकार आणि विवक्षित अक्षरे यांचा संबंध दर्शविणारा नियम जर्मन लोकांतही आहे.

परंतु हे नियम उत्तर गोलार्धातच लागू पडतात. कारण ऑस्ट्रेलियात किंवा ट्रान्सवाल प्रदेशात याच्या उलट स्थिती असते. उत्तर गोलार्धातसुद्धा दक्षिणेकडच्या अक्षांशवृत्तावरील प्रदेशांत हे नियम उपयोगी नाहीत. क्रिमिया आणि ट्रान्सकॉकेशिया प्रांतात चंद्रकोर आणि अर्धचंद्र बरेच तिरकस असतात आणि त्याहून दक्षिणेस गेल्यास ती दोन्ही आडवी, म्हणजे फुगीर बाजू खाली असलेल्या स्थितीत

दिसतात.* विषुववृत्ताजवळ चंद्राची कोर लाटांवर तरंगणाऱ्या होडीसारखी किंवा एखाद्या तेजस्वी कमानीसारखी दिसते. तेथे अर्थात p किंवा d या अक्षराबद्दलची फ्रेंच युक्ती उपयोगी नाही. कारण अशा आडव्या कोरीची टोके जोडून तशी अक्षरे येणारच नाहीत! म्हणून की काय प्राचीन रोमन लोक तिरकस दिसणाऱ्या चंद्राला 'भ्रामक' (ल्युना फँलाक्स) म्हणत. म्हणून चंद्राच्या कलांबाबत चूक टाळायची तर आपण ज्योति:शास्त्रीय खुणांचा आधार घेतला पाहिजे. शुक्ल पक्षातली चंद्रकोर अंधार पडल्यावर पश्चिमेस दिसते, तर कृष्ण पक्षातली कोर पहाटेस पूर्वेकडे दिसते.

ध्वजावरचा चंद्र

प्रश्न : आकृती २८ मध्ये चांदताऱ्याचा जुना तुर्की ध्वज दाखविला आहे. त्यावरून पुढील प्रश्न उद्भवतात :



आकृती २८ : जुना तुर्की ध्वज

१) ध्वजातील चंद्र शुक्ल पक्षातला आहे की कृष्ण पक्षातला?

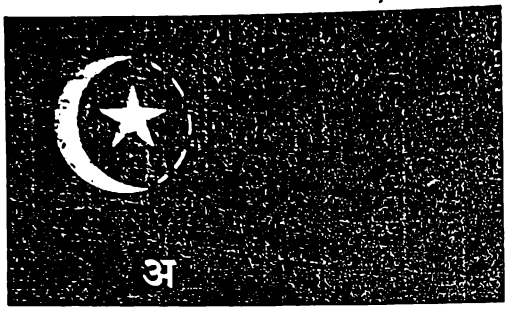
२) ध्वजामध्ये चंद्रकोर आणि तारा ज्या स्थितीत दाखविले आहेत त्या स्थितीत त्यांना आपण आकाशात पाहू शकू का?

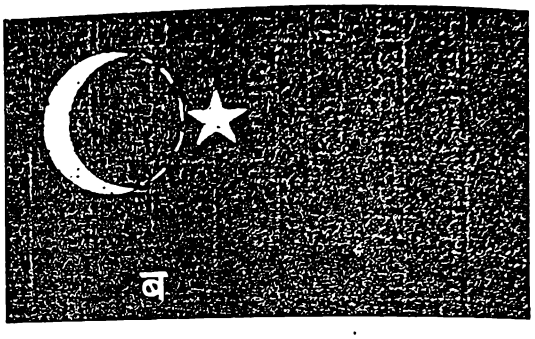
---

* आपल्या देशात चंद्र ह्या आडव्या स्थितीतच दिसतो. किंबहुना दूर उत्तरेकडे चंद्रकोर उभी दिसते हे ऐकून वाचकास नवलच वाटेल! अर्थात आपल्याकडेही अनेकदा चंद्रकोरीचे एक टोक किंवा शृंग दुसऱ्यापेक्षा उंच दिसते. चंद्राच्या ज्या बाजूस सूर्य असतो त्याच्या उलट बाजूस शृंगे असतात. चंद्रदर्शनाच्या दिवशी सूर्य जेथे मावळतो त्याच्या वर अगदी समोरच चंद्र असला तर दोन्ही शृंगे सारखी उंच दिसतात. सूर्याच्या उत्तरेस चंद्र असला तर दक्षिणेचे टोक उंच आणि उत्तरेचे खाली दिसेल. सूर्याच्या दक्षिणेस चंद्र असला तर दक्षिण टोक खाली आणि उत्तर टोक उंच दिसेल. कृष्ण पक्षात त्रयोदशी-चतुर्दशीच्या सुमारास पहाटेस सूर्योदयापूर्वी चंद्र दिसतो तेव्हा असेच होते. आपल्याकडे चंद्राचे दक्षिणोत्तर अंतर विशेष नसते, पण उत्तर युरोपमध्ये गेल्यास चंद्र फारच बाजूस उगवतो, तेथे एक शृंग दुसऱ्याच्या समोर वरच दिसते. वरील विवेचन त्याला अनुलक्षून आहे. —**अनुवादकाची टीप**

उत्तर : उत्तर गोलार्धातील एका देशाचा हा ध्वज आहे हे लक्षात घेता वर दिलेला नियम लागू करून आपण सांगू शकतो की ध्वजावरचा चंद्र कृष्ण पक्षातला आहे.

२) चंद्राच्या संपूर्ण बिंबाच्या आत तारा दिसणे शक्य नाही. इतर सर्व आकाशस्थ गोल चंद्रापेक्षा फारच दूर आहेत आणि म्हणून चंद्रामुळे त्यांना ग्रहण लागते. आकृती २९ ब मध्ये दाखविल्याप्रमाणे हे गोल चंद्राच्या तमाच्छादित बिंबाच्या कडेच्या बाहेरच दिसू शकतात.





आकृती २९ : अ आणि ब : चंद्राच्या शृंगामध्ये तारे कां दिसू शकत नाहीत?

आकृती ३० : ह्या चित्रात खगोलशास्त्रदृष्ट्या एक चूक आहे. कोणती? (उत्तरासाठी पाठ पहा.)

सध्याच्या तुर्की ध्वजातही चंद्रकोर तारा आहे, पण कुतूहलाची गोष्ट म्हणजे त्यात तारा चंद्रकोरीपासून आकृती २९ ब प्रमाणेच दूर दाखवला आहे.

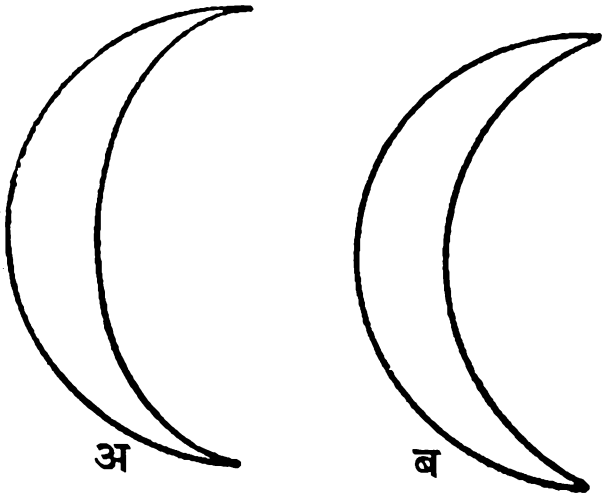
चंद्राच्या कलांचे रहस्य

चंद्राला सूर्यापासून प्रकाश मिळतो आणि म्हणून स्वाभाविक चंद्रकोरीचा बहिर्गोल भाग सूर्याच्या बाजूला पाहिजे. परंतु पुष्कळदा चित्रकार हे विसरतात. कधी कधी प्रदर्शनातल्या काही चित्रातील निसर्गदृश्यात सूर्याकडे उजवी बाजू करून असलेला अर्धचंद्र दाखविलेला असतो. काही वेळा तर सूर्याच्या बाजूलाच शृंगे असलेली चंद्रकोर चित्रात दाखविण्यात येते.

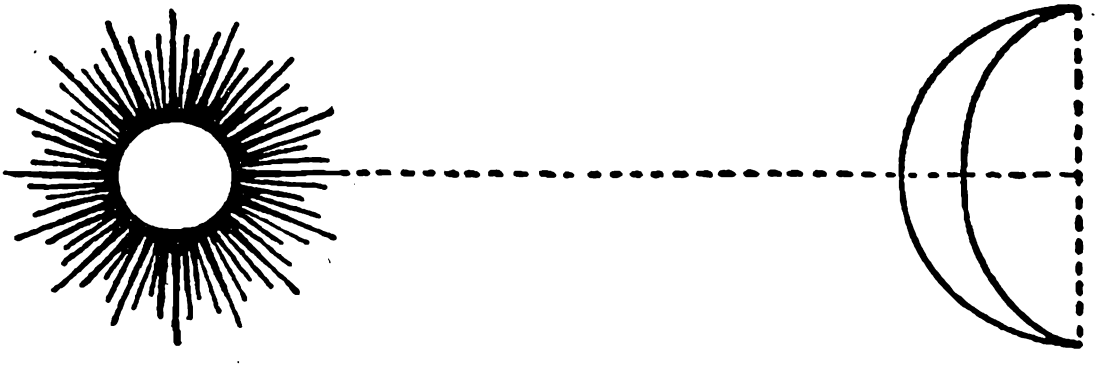
ओघात हेदेखील सांगायला पाहिजे

की **चंद्रकोर अचूक रेखाटणे वाटते तेवढे सोपे नाही.** अनुभवी चित्रकारसुद्धा चंद्रकोरीचे बाहेरचे व आतले चाप अर्धवर्तुळाच्या आकारात काढतात. परंतु खरे म्हणजे बाहेरचा चापच अर्धवर्तुळाकार असतो, **आतला चाप अर्ध-लंबवर्तुळाकार असतो.**

त्याचप्रमाणे आकाशात चंद्र योग्य त्या स्थानी दाखविणेदेखील सोपे नाही. अर्धचंद्र आणि चंद्रकोर दोहोंचे सूर्यसापेक्षिक स्थान पुष्कळ वेळा गोंधळात टाकणारे असते. चंद्राचा प्रकाश सूर्यापासून येतो त्या अर्थी चंद्राच्या शृंगांना जोडणाऱ्या रेषेने सूर्याच्या द्विभाजक किरणाशी काटकोन केला पाहिजे असे वाटते. (आकृती ३२). दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे शृंगांना जोडणाऱ्या रेषेच्या मध्यबिंदूवर लंबरेषा काढली तर ती सूर्याच्या मध्यातून गेली पाहिजे. परंतु हा नियम बीजेच्या बारीक चंद्रकोरीसच लागू पडतो. आकृती ३३ मध्ये निरनिराळ्या कलांतील चंद्र सूर्यकिरणांस अनुलक्षून निरनिराळ्या सापेक्ष स्थानी दाखविला आहे. त्यावरून असे वाटते की चंद्रावर पोहोचण्यापूर्वी किरण वाकलेले आहेत. पण ते तर शक्य नाही.



आकृती ३१ : चंद्रकोर अशी काढावी (अ) आणि अशी काढू नये (ब)



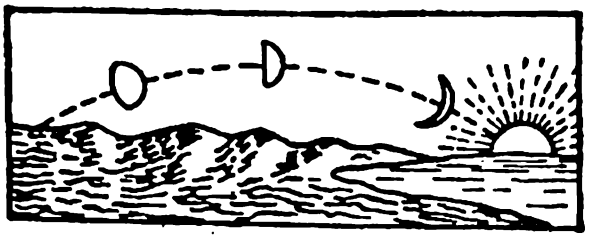
आकृती ३२ : चंद्रकोर आणि सूर्य यांची सापेक्ष स्थिती

ह्या कोड्याचे उत्तर पुढीलप्रमाणे आहे. सूर्यापासून चंद्राकडे जाणारा किरण खरोखरच चंद्राच्या शृंगास जोडणाऱ्या रेषेशी काटकोन करतो आणि सरळ

रेषेतच जात असतो. पण आपल्या दृष्टीला ही सरळ रेषा दिसत नसते तर त्या रेषेचा आकाशाच्या फुगीर अर्ध गोलावरील प्रलंब आपल्याला दिसतो व त्यामुळे ती रेषा बाकदार वाटते. यामुळेच चंद्र आकाशात 'चुकीच्या पद्धतीने लटकत असलेला' वाटतो. चित्रकाराने ह्या वैशिष्ट्यांचा अभ्यास केला पाहिजे आणि ती चित्रात कशी दाखवावी हे माहीत करून घेतले पाहिजे.

दुहेरी ग्रह

पृथ्वी आणि चंद्र मिळून दुहेरी ग्रह बनतो. सूर्यमालेतील सर्व उपग्रह घेतले आणि त्यांची **आपापल्या मुख्य ग्रहांशी तुलना केली तर त्यात आपला उपग्रह चंद्रमा हाच प्रमुख ठरतो,** म्हणून पृथ्वी-चंद्र जोडीस दुहेरी ग्रह म्हणवून घेण्याचा अधिकार आहे. वास्तविक सूर्यमालेत चंद्राहून जास्त मोठे आणि जास्त जड उपग्रह आहेत. परंतु आपापल्या ग्रहांशी त्यांची तुलना करता आणि चंद्राची पृथ्वीशी तुलना करता हे बाकीचे उपग्रह सापेक्षरीत्या लहानच ठरतात. **चंद्राचा व्यास पृथ्वीच्या मानाने** $\frac{१}{४}$ हून अधिक भरतो. उलट सूर्यमालेतील सर्वात मोठा उपग्रह जो नेपच्यूनचा ट्रायटन, त्याचा व्यास नेपच्यूनच्या व्यासाच्या मानाने $\frac{१}{१०}$ हून कमीच आहे. शिवाय **चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या** $\frac{१}{८१}$ इतके आहे, तर सूर्यमालेतील सर्वात जड उपग्रह जो गुरूचा तृतीय उपग्रह, त्याचे वस्तुमान गुरूच्या मानाने $\frac{१}{१००००}$ हून कमीच आहे.



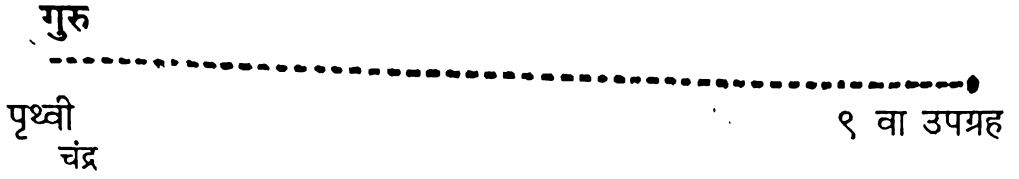
आकृती ३३ : निरनिराळ्या कलांच्या वेळी चंद्राची सूर्य-सापेक्ष स्थिती वरप्रमाणे दिसते.

सूर्यमालेतील सर्वात मोठ्या उपग्रहांचे वस्तुमान त्यांच्या ग्रहांच्या वस्तुमानाच्या मानाने केवढे आहे हे खालील कोष्टकात दाखविले आहे :

ग्रह	उपग्रह	वस्तुमान (ग्रहाच्या वस्तुमानाचा अंश)
पृथ्वी	चंद्र	०.०१२३
गुरू	गनीमीड	०.००००८
शनी	टायटन	०.०००२१
यूरेनस	टायटेनिया	०.००००३
नेपच्यून	ट्रायटन	०.००१२९

ग्रहाच्या वस्तुमानाचा अंश लक्षात घेता चंद्र ह्या कोष्टकात शिरोभागी येतो.

पृथ्वी-चंद्र जोडीस दुहेरी ग्रह नाव देण्याचे **तिसरे कारण म्हणजे त्याचे निकटवर्तित्व.** इतर ग्रहांचे उपग्रह त्यामानाने फारच दूर भ्रमण करीत असतात; गुरूचे काही उपग्रह (उदाहरणार्थ, ९ वा उपग्रह, आकृती ३४ पहा.) गुरूपासून पृथ्वी-चंद्र अंतरापेक्षा ६५ पट दूर आहेत.

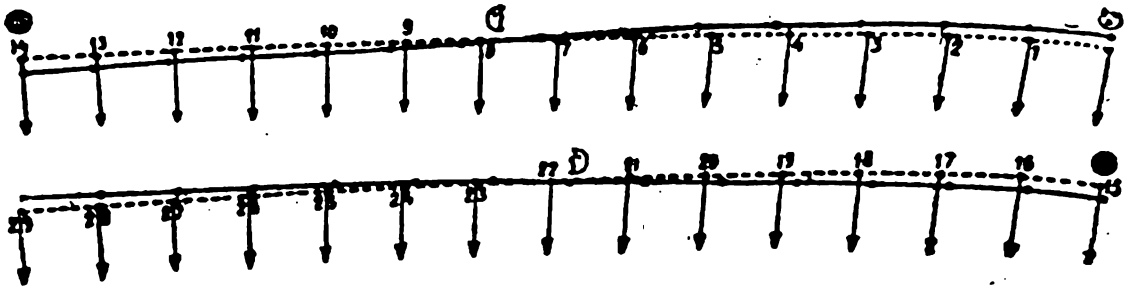


आकृती ३४ : गुरु-कुलाची आणि पृथ्वी-चंद्र जोडीची तुलना. (संबंधित खस्थ गोलांचे आकार प्रमाणात दाखविलेले नाहीत.)

या ठिकाणी आपल्याला आढळणारी कुतूहलजनक गोष्ट ही की **सूर्याभोवतालचा चंद्राचा पथ पृथ्वीच्या पथापासून फारसा भिन्न नाही!** चंद्र पृथ्वीपासून जवळ जवळ ४ लक्ष किलोमीटर दूर आहे हे लक्षात घेता ही गोष्ट अविश्वसनीय वाटेल. परंतु हे विसरून चालणार नाही की चंद्र पृथ्वीभोवती एक प्रदक्षिणा करतो तेवढ्यात पृथ्वी चंद्राला घेऊन स्वत:च्या वार्षिक प्रवासाचा अदमासे $\frac{१}{१३}$ भाग, म्हणजे ७ कोटी किलोमीटरचा प्रवास पूर्ण करीत असते. समजा, चंद्राचा २५ लक्ष किलोमीटरचा वर्तुळाकार मार्ग आपण तीसपट लांबट केला, तर त्याचा गोल आकार कितीसा शिल्लक राहील? मुळीच नाही. यामुळेच चंद्राचा सूर्याभोवतालचा मार्ग पृथ्वीच्या कक्षेशी जवळ जवळ एकरूप होतो. फक्त १३ लहानथोर फुगवटे त्याच्या मार्गाच्या आकारास किंचित वेगळे रूप देतात. चंद्राचा पथ नेहमीच सूर्याच्या बाजूला अंतर्गोल असतो १३ बाजू आणि १३ गोलाकार कोन असलेल्या आकृतीसारखा असतो, हे साधे गणित करून सिद्ध करता येईल. पण आता त्या गणिती खटाटोपाचा त्रास तुम्हाला देत नाही.

आकृती ३५ मध्ये पृथ्वी आणि चंद्र यांच्या एक महिन्यातील प्रवासमार्गांची अचूक आकृती दिलेली आहे. तुटक रेषेने पृथ्वी पथ दाखविला आहे, अखंड रेषेने चंद्र पथ. दोन्ही पथ फारच जवळ जवळ असल्यामुळे त्यांना वेगळे दाखविण्यासाठी फार मोठ्या प्रमाणावरची आकृती दाखविणे भाग आहे. ह्या आकृतीत पृथ्वी-कक्षेचा व्यास एक मीटर घेतला आहे तोच जर १० सेंटीमीटर घेतला असता तर दोहोंमधील जास्तीतजास्त अंतरसुद्धा मार्ग दाखविणाऱ्या

रेषेच्या जाडीहून कमीच भरले असते!



आकृती ३५ : चंद्र (सलग रेषा) आणि पृथ्वी (तुटक रेषा) यांचे सूर्याभोवतालचे मासिक भ्रमण पथ

ही आकृती पाहिल्यास दिसते की **पृथ्वी आणि चंद्र दोघेही सूर्याभोवती जवळ जवळ एकाच कक्षेत फिरत असतात** आणि म्हणून ज्योति:शास्त्रज्ञांनी या जोडीस 'दुहेरी ग्रह' हे जे नाव दिले ते अगदी यथार्थच आहे.*

म्हणून सूर्यावरच्या निरीक्षकाला चंद्राचा मार्ग म्हणजे पृथ्वीच्या कक्षेशी जवळ जवळ जुळणारी, किंचित बाकदार अशी रेषा वाटेल. पृथ्वीच्या दृष्टीने चंद्राच्या गतीचा मार्ग काहीसा विवृत्ताकार आहे. त्यात व ह्यात विसंगती नाही.

अर्थात याचे कारण पृथ्वीवरून निरीक्षण करताना आपल्याला चंद्र पृथ्वीच्या कक्षेत पृथ्वीबरोबर जात असलेला दिसत नाही. कारण आपणही त्या गतीत भाग घेत असतो.

चंद्र सूर्यावर जाऊन पडत कां नाही?

हा प्रश्न थोडासा वेडगळच वाटतो. चंद्र सूर्यावर जाऊन पडावाच का? सकृतदर्शनी पृथ्वीचे आकर्षण दूरच्या सूर्यापेक्षा जास्त आहे आणि म्हणून ती चंद्राला स्वत:भोवती परिभ्रमण करावयास लावते.

परंतु असे समजणाऱ्या वाचकाला हे ऐकून आश्चर्य वाटेल की वस्तुस्थिती याच्या उलट आहे. **पृथ्वीचे नव्हे तर सूर्याचेच आकर्षण चंद्रावर अधिक आहे.**

---

* ही आकृती नीट निरखून पाहिल्यास दिसते की चंद्राची गती सतत सारखी दाखवलेली नाही. प्रत्यक्षात तसेच आहे. चंद्र पृथ्वीभोवती विवृत्ताकारात फिरत असतो आणि पृथ्वी ह्या विवृत्ताच्या केंद्रावर असते. यामुळे केप्लरच्या दुसऱ्या नियमानुसार तो पृथ्वीजवळ येतो तेव्हा जास्त जलद जाऊ लागतो. चंद्राच्या कक्षेची केंद्रच्युती ०·०५५ आहे म्हणजे कमी नाही.

गणिताने हे सिद्ध करता येईल. चंद्रास आकर्षिणाऱ्या दोन्ही शक्तींची—पृथ्वी व सूर्य यांच्या शक्तींची—आपण तुलना करून पाहू. या शक्ती दोन गोष्टींवर अवलंबून असतात. आकर्षिणाऱ्या गोलाचे वस्तुमान आणि त्याचे चंद्रापासूनचे अंतर. सूर्याचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानापेक्षा ३,३०,००० पट मोठे आहे. दोहोंचे चंद्रापासूनचे अंतर समान असते तर सूर्याचे आकर्षण ३,३०,००० पट झाले असते. परंतु सूर्य चंद्रापासून पृथ्वीपेक्षा साधारण ४०० पट दूर आहे. गुरुत्वाकर्षणाची शक्ती अंतराच्या वर्गसंख्येच्या प्रमाणात कमी होत जाते; यामुळे सूर्याची गुरुत्वाकर्षण शक्ती $४००^२$ पटीने, म्हणजे १,६०,००० पटीने कमी असायला पाहिजे. म्हणून सूर्याची गुरुत्वाकर्षण शक्ती पृथ्वीपेक्षा $\frac{३,३०,०००}{१,६०,०००}$ पट म्हणजे दुप्पटीहून अधिक आहे!

याचा अर्थ **सूर्य चंद्राला पृथ्वीहून दुप्पट शक्तीने ओढत असतो. मग चंद्र सूर्यावर जाऊन पडत का नाही?** असे असूनसुद्धा पृथ्वी चंद्राला स्वत:भोवती फिरायला लावते आणि सूर्य वरचढ ठरत नाही, असे कां?

ज्या कारणामुळे पृथ्वी सूर्यावर जाऊन पडत नाही त्याच कारणामुळे चंद्रही पडत नाही. तो पृथ्वीसमवेत सूर्याभोवती फिरत राहतो आणि दोहोंना सरळ मार्गावरून सतत विचलित करण्यात, दोहोंना वक्राकार कक्षेत फिरते ठेवण्यात, म्हणजे सरळ-रेषा गतीला वक्ररेषाकार गती बनविण्यात सूर्याची गुरुत्वाकर्षणशक्ती पूर्णपणे खर्च होते. आकृती ३५ कडे नजर टाकल्यास हे लक्षात येईल.

कदाचित काही वाचकांना अजून शंका वाटेल. हे घडते कसे? पृथ्वी चंद्राला स्वत:कडे ओढते; पण सूर्य चंद्राला त्याहून अधिक शक्तीने ओढतो; तरीसुद्धा चंद्र सूर्यावर जाऊन न पडता पृथ्वीभोवती फिरत राहतो? जर सूर्य चंद्राला एकट्यालाच ओढत असता तर हे चमत्कारिक झाले असते. मुद्दा हा आहे की **चंद्र-पृथ्वी दोहोंना, ह्या एकूण 'दुहेरी ग्रहास' सूर्य ओढत असतो;** त्या जोडप्याच्या अंतर्गत व्यवहारांत ढवळाढवळ न करता त्यांना ओढत असतो असे म्हणा! अचूक सांगायचे म्हणजे सूर्य पृथ्वी-चंद्र जोडीच्या सामान्य गुरुत्वमध्यास आकर्षित असतो. हा मध्यच खरोखर सौर आकर्षणाच्या प्रभावामुळे सूर्याभोवती परिभ्रमण करीत असतो. तो पृथ्वीच्या मध्यबिंदूपासून, पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या $\frac{२}{३}$ अंतरावर चंद्राच्या बाजूला असतो. चंद्र आणि पृथ्वीचा मध्यबिंदू त्या समान गुरुत्वमध्याभोवती फिरत असतात आणि एका महिन्यात एक प्रदक्षिणा पूर्ण करतात.

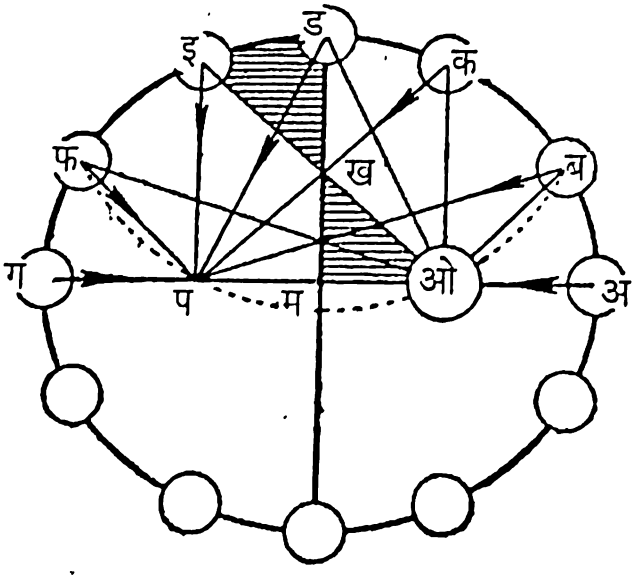
चंद्राच्या दृश्य आणि अदृश्य बाजू

भरीवदर्शक चित्रे तुम्ही पाहिली असतील, पण त्यात चंद्राचा जो देखावा दिसतो तो सर्वात विस्मयजनक वाटतो. त्यातून दिसते की चंद्र खरोखर चेंडूच्या आकाराचा आहे. आकाशात मात्र तो एखाद्या थाळीसारखा सपाट भासतो.

परंतु आपल्या ह्या उपग्रहाचे भरीवदर्शक छायाचित्र घेणे किती अवघड आहे याची अंधुक कल्पनादेखील बहुतेकांना नसेल. त्यासाठी चंद्राच्या गतीतील विलक्षण गोष्टींची माहिती हवी.

चंद्र पृथ्वीभोवती फिरतो तो तिच्याकडे सदैव एकच बाजू ठेवून. तसे करताना तो स्वतःच्या अक्षाभोवतीही फिरतो; दोन्ही गती एकाच वेळी पूर्ण होत असतात.

आकृती ३६ मध्ये चंद्राची विवृत्ताकार कक्षा दाखविली आहे. चंद्र विवृत्ताचा लांबटपणा त्यात मुद्दाम वाढवून दाखविला आहे. वास्तविक चांद्र कक्षेची केंद्रच्युती ०.०५५ किंवा $\frac{१}{१८}$ आहे. चंद्राची ही कक्षा छोट्या आकृतीत अगदी अचूक दाखवायची म्हटले तर ती डोळ्यांनी वर्तुळापासून वेगळी ठरविणे सर्वस्वी अशक्य होईल. कारण अर्ध-बृहद्-व्यास एक मीटर लांब घेतला तर अर्ध लघुव्यास त्याहून फक्त १।। मिलिमीटर लहान असेल आणि पृथ्वी मध्यबिंदूपासून फक्त ५.५ सेंटीमीटर दूर दाखवावी लागेल. म्हणून समजून घेण्याच्या दृष्टीने आकृतीमध्ये जास्त लांबट विवृत्त दाखविले आहे.



आकृती ३६ : पृथ्वीभोवताली चंद्र कक्षेत कसा फिरतो?
(तपशिलासाठी पाठ पहा.)

तेव्हा आकृती ३६ मधील विवृत्त ही चंद्राची पृथ्वीभोवतालची कक्षा आहे असे समजा. ह्या विवृत्ताचे एक केंद्र ओ ह्या बिंदूवर पृथ्वी आहे. केप्लरचे नियम ग्रहांच्या सूर्यप्रदक्षिणांनाच नव्हे तर उपग्रहांच्या ग्रहप्रदक्षिणांसही लागू पडतात म्हणजे चांद्र परिभ्रमणासही ते लागू पडतात. केप्लरच्या दुसऱ्या नियमान्वये $\frac{१}{४}$ महिन्यांत चंद्र **अ इ** हे अंतर कापतो, ते अशा प्रकारे की, **ओ अ ब क ड इ** या भागांचे क्षेत्रफळ विवृत्ताच्या एकूण क्षेत्रफळाच्या $\frac{१}{४}$ एवढे म्हणजे **म अ ब क ड** या भागाएवढे होते. (आपल्या आकृतीत हे दोन भाग सारख्या क्षेत्रफळाचे आहेत ही गोष्ट **म ओ ख** आणि **इ ख ड** हे दोन भाग साधारण सारखे आहेत यावरून स्पष्ट होते.) अशा प्रकारे पाव चंद्र **अ** पासून **इ** वर जातो. परंतु सूर्याभोवतालच्या परिभ्रमणाच्या उलट, चंद्राचे परिवलन मात्र एकंदर ग्रहांच्या परिवलनांप्रमाणे सम असते. $\frac{१}{४}$ महिन्यात तो बरोबर ९०' अंश फिरतो. यामुळे **अ** बिंदूवर असताना पृथ्वीकडे जाणारी चंद्राची त्रिज्यारेषा, तो **इ** बिंदूवर पोचल्यावर, **म** बिंदूकडे वळलेली नसणार, ती **म**च्या डावीकडे, कक्षेचे जे दुसरे केंद्र **प** त्याच्या जवळच्या एखाद्या बिंदूकडे वळलेली असणार. अशा तऱ्हेने चंद्र पृथ्वीवरील निरीक्षकापासून आपला चेहरा किंचित वळवतो तेव्हा त्याला चंद्राच्या उजव्या बाजूकडील अदृश्य गोलार्धाची बारीक पट्टी दिसेल. **फ** बिंदूवर चंद्र पोचतो तेव्हा निरीक्षकाला सामान्यत: अदृश्य असलेल्या बाजूची त्याहून बारीक पट्टी दिसू लागेल, कारण **ओफप** हा कोन **ओइप** ह्या कोनापेक्षा लहान आहे. **ग** ह्या बिंदूवर, म्हणजे कक्षेच्या अपभूवर पोचल्यावर पुन्हा चंद्र पृथ्वीच्या दृष्टीने **अ** बिंदूसारखीच म्हणजे परिभू बिंदूसारखीच स्थिती धारण करतो. त्याच्यानंतर चंद्र पुन्हा पृथ्वीपासून तोंड फिरवू लागतो, पण या खेपेस विरुद्ध दिशेला आणि म्हणून त्याच्या अदृश्य बाजूची दुसरी पट्टी पृथ्वीसमोर येते. ही पट्टी मोठी होत जाते, मग पुन्हा बारीक होते आणि अखेर **अ** ह्या बिंदूप्रत येताच चंद्र आपली पहिली स्थिती धारण करतो.

चंद्राचा मार्ग विवृत्ताकार असल्यामुळे आपल्या उपग्रहाची अगदी एकच एक बाजू आपल्यासमोर असते असे नाही हे आपण पाहिले. त्याची एकच एक बाजू अखंड वळलेली असते ती पृथ्वीकडे नव्हे तर कक्षेच्या दुसऱ्या केंद्राकडे. आपल्याला चंद्र त्याच्या मध्यवर्ती स्थितीभोवती डोलताना दिसतो. तराजूप्रमाणे आंदोलन घेताना दिसतो. यामुळे लॅटिन भाषेतील लिब्रा (= तुला, तराजू) या शब्दावरून **चंद्राच्या या आंदोलनास** इंग्रजी भाषेत ज्योति:शास्त्रज्ञ **लिब्रेशन म्हणतात.** प्रत्येक बिंदूवरचे आंदोलन किंवा लिब्रेशन संबंधित कोनावरून

मापतात; उदाहरणार्थ, **इ** ह्या बिंदूवरचे आंदोलन **ओइप** ह्या कोनाएवढे आहे. सर्वात अधिक आंदोलन ७° ५३′ किंवा जवळ जवळ ८ अंशाएवढे असते.

चंद्र मार्गक्रमण करीत असतो तेव्हा आंदोलनाचा हा कोन कसा कमीअधिक होतो हे पाहण्यासारखे आहे. ड बिंदूवर कंपासाचे टोक ठेवा आणि **ओ** व **प** या केंद्रातून जाणारा चाप काढा. हा चाप कक्षेस **ब** आणि **फ** या बिंदूत छेदतो. आता **ओपब** आणि **ओफप** हे कोन अंतर्गत कोन असल्यामुळे ते केंद्रगत कोन **ओडप**च्या निम्मे आहेत. म्हणून चंद्र जेव्हा **अ**पासून **ड**पर्यंत जातो, तेव्हा **ब**पर्यंत आंदोलन झपाट्याने वाढून कमाल मर्यादेच्या निम्म्यापर्यंत पोचते आणि नंतर हळूहळू कमी होऊन **फ**च्या पुढे ते झपाट्याने कमी होते. विवृत्ताच्या खालच्या अर्ध्या भागात आंदोलन त्याच पद्धतीने बदलत जाते, परंतु उलट (कक्षेच्या प्रत्येक बिंदूवरील आंदोलनाचे परिमाण अदमासे चंद्र आणि विवृत्ताचा बृहद्-व्यास यांमधील अंतराच्या प्रमाणात असते.)

ह्या चांद्र आंदोलनास भोग-आंदोलन किंवा रेखावृत्तीय आंदोलन म्हणतात. त्याखेरीज **चंद्रबिंबात दुसऱ्याही एक प्रकारचे आंदोलन** होत असते, त्याला शर-आंदोलन किंवा अक्षवृत्तीय आंदोलन म्हणतात. चांद्र कक्षेची पातळी चांद्र विषुववृत्ताकडे ६½ अंशाने कललेली आहे. यामुळे एका खेपेस आपल्याला चंद्राचे दर्शन किंचित दक्षिणेकडून घडते आणि दुसऱ्या खेपेस किंचित उत्तरेकडून. अशा तऱ्हेने त्याच्या ध्रुवावरून किंचित पलीकडे त्याच्या अदृश्य गोलार्धाकडे आपणाला डोकावता येते. हे अक्षवृत्तीय आंदोलन ६½ अंशाएवढे असू शकते.

चंद्राची भरीवदर्शक छायाचित्रे घेण्यासाठी त्याच्या ह्या केंद्राभोवती अल्प **हेलकाव्यांचा फायदा ज्योतिःशास्त्रज्ञ कसा घेतात** हे समजावून देण्याचा आता मी प्रयत्न करीन. वाचकाने आतापर्यंत अंदाज केला असेलच की अशी छायाचित्रे घेण्यासाठी पुरेसा मोठा कोन ज्यामध्ये आहे अशा दोन भिन्न स्थितीमधील चंद्राची छायाचित्रे आपणाला घेता आली पाहिजेत.* **अ** व **ब, ब** व **क, क** व **ड** या बिंदूंदरम्यान चंद्राची स्थिती भरीवदर्शक छायाचित्रे घेण्यास पुरेशी एवढी बदलते. परंतु या ठिकाणी दुसरी एक अडचण उपस्थित होते. त्या दोन स्थितीदरम्यान ३६ ते ४८ तासांचा काळ लोटतो आणि तेवढ्यात पहिल्या छायाचित्रात प्रकाशाच्या कडेस असलेली चंद्रतलाची पट्टी अंधारातून बाहेर आलेली असते. भरीवदर्शक छायाचित्राच्या दृष्टीने हे चालायचे नाही. कारण ह्या

* भरीवदर्शक छायाचित्रे घेण्यासाठी चंद्र १ अंशातून फिरला तरी पुरे असते.

पट्टीला रुपेरी चमक असेल. म्हणजे आपल्यापुढे जो अवघड प्रश्न आहे तो हा की रेखावृत्ती आंदोलन भिन्न असेल पण कला मात्र एकच असेल आणि प्रकाशित वर्तुळात चंद्राचा तोच तो भाग असेल, अशी छायाचित्रे आपणाला घेता आली पाहिजेत. परंतु तेवढ्यानेही भागत नाही, दोन्ही स्थितीत अक्षवृत्तीय आंदोलन सारखेच असले पाहिजे.

चंद्राची चांगली भरीवदर्शक छायाचित्रे घेणे किती कठीण आहे हे आता तुमच्या लक्षात येईल, यामुळे भरीवदर्शक जोडचित्रातील दुसरे चित्र घेण्यासाठी पुष्कळदा कित्येक वर्षे वाट पहावी लागते हे ऐकून तुम्हाला आश्चर्य वाटणार नाही.

परंतु ह्या पुस्तकाचा वाचक चंद्राच्या भरीवदर्शक छायाचित्रणाच्या खटाटोपात पडण्याचा संभव कमीच. वरील खुलासा व्यावहारिक उपयोगासाठी केलेला नाही, तर चंद्राच्या अदृश्य बाजूची बारीक पट्टी पाहणे ज्योतिःशास्त्रज्ञांना ज्यामुळे शक्य होते ती चंद्रगतीची विवक्षित लक्षणे दाखवून देण्यासाठी केलेला आहे. चंद्र आंदोलनामुळे चंद्राचा निम्माच नव्हे तर ५९ टक्के भाग पाहणे आपणाला शक्य होते. बाकीचा भाग पूर्णपणे आपल्या दृष्टीच्या मर्यादेबाहेर आहे आणि तो कसा दिसत असेल हे कुणालाच माहीत नाही. तो मुख्यतः दृश्य भागापासून वेगळा नसेल असे फक्त आपण गृहीत धरू शकतो. चंद्रावरच्या पर्वतराजी आणि तेजस्वी पट्टे पुढे लांबवून अदमासाने ह्या अदृश्य भागाचे काही तपशील रेखाटण्याचे चातुर्यपूर्ण प्रयत्न झालेले आहेत. परंतु अद्याप आपण अनुमानधक्क्याच्या क्षेत्रात वावरत आहोत. 'अद्याप' म्हणण्याचे कारण, पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणावर मात करून अंतराळात प्रवास करू शकणाऱ्या यंत्रांतून चंद्राभोवती उड्डाण करण्याच्या दिशेने आपण बरीच प्रगती केलेली आहे. हे धाडती साहस यशस्वी करण्याचा दिवस आता फार दूर नाही.* एक गोष्ट मात्र आपणाला निश्चित माहीत आहे—ती ही की चंद्राच्या अदृश्य गोलार्धावर वातावरण असल्याचा जो सिद्धान्त अनेकदा मांडण्यात येतो तो सर्वस्वी चुकीचा आहे, तो पदार्थविज्ञानाच्या नियमांशी साफ विसंगत आहे. चंद्राच्या एका बाजूस वातावरण नाही तर दुसऱ्या बाजूला ते कसे असू शकेल? (ह्या प्रश्नाकडे आपण पुढे एकदा वळू.)

---

* हे पुस्तक प्रसिद्ध झाल्यानंतर सोविएत युनियनने आपल्या कृत्रिम बालचंद्राच्या साहाय्याने या भागाचे फोटो घेतले आहेत व ते वर्तमानपत्रातून प्रसिद्धही झाले आहेत.

– अनुवादकाची टीप

दुसरा चंद्र आणि चंद्राचा चंद्र

मधून मधून वृत्तपत्रात बातम्या प्रसिद्ध झालेल्या आहेत की कोणातरी निरीक्षकाने पृथ्वीचा दुसरा एक उपग्रह, दुसरा चंद्र, अस्तित्वात असल्याचे सिद्ध केले आहे. हे दावे कधी खरे ठरले नसले तरी हा विषय नक्कीच विचार करण्याजोगा आहे.

पृथ्वीस दुसरा एक उपग्रह असण्याचा प्रश्न नवा नाही, त्याच्यामागे मोठा इतिहास आहे. ज्यूल व्हर्नची 'चंद्रावर स्वारी' ही नवलकथा ज्यांनी वाचली असेल त्यांना आठवत असेल की त्यात लेखकाने दुसऱ्या चंद्राचा उल्लेख केलेला आहे; हा चंद्र एवढा लहान आणि जलद फिरणारा असतो की तो पृथ्वीवरून दिसत नाही. ज्यूल व्हर्न म्हणतो की पेतीत ह्या ज्योति:शास्त्रज्ञास त्याच्या अस्तित्वाची शक्यता वाटत होती आणि ह्या चंद्राचा पृथ्वीभोवतालचा प्रदक्षिणाकाल ३ तास २० मिनिटे असल्याचे त्याने ठरविले होते. हा चंद्र पृथ्वीपासून ८१४० किलोमीटर दूर असल्याची अपेक्षा होती. गंमत अशी की ज्यूल व्हर्नच्या पुस्तकातील ज्योति:शास्त्रीय भागाची चर्चा करताना 'सायन्स' ह्या इंग्रजी नियतकालिकाने असे मत नमूद केले होते की पेतीतसंबंधीचा हा उल्लेख आणि पेतीत ही व्यक्ती दोन्ही शुद्ध कविकल्पना होत्या. एवढे निश्चित खरे की कोणत्याही ज्ञानकोशात ह्या नावाच्या ज्योति:शास्त्रज्ञाचा उल्लेख आढळत नाही. तरीसुद्धा लेखक काही कपोलकल्पित गोष्टी सांगत नव्हता. गेल्या शतकाच्या मध्यावर टुलौस वेधशाळेचा संचालक पेतीत नावाचा होता, त्याने दुसरा चंद्र अस्तित्वात असल्याचे मत खरोखर व्यक्त केले होते व ह्या चंद्राचा प्रदक्षिणाकाळ ३ तास २० मिनिटे आणि त्याचे अंतर ८००० किलोमीटर नव्हे तर ५००० किलोमीटर असल्याचे सांगितले होते. त्या वेळी फारच थोडे ज्योति:शास्त्रज्ञ त्याच्याशी सहमत होते. पुढे ते मत विस्मृतीच्या गर्तेत गडप झाले.

पृथ्वीचा दुसरा एक छोटासा उपग्रह आहे असे मानण्यात तत्त्वत: अशास्त्रीय असे काहीच नाही. परंतु अशा प्रकारचा एखादा आकाशस्थ गोल असल्यास तो चंद्राच्या अगर सूर्याच्या बिंबावरून क्वचितप्रसंगी जाईल तेव्हाच दृश्यमान होईल असे नाही. प्रत्येक परिभ्रमणात तो पृथ्वीच्या छायेत लुप्त होण्याइतका पृथ्वीच्या जवळून जात असता तरीसुद्धा सकाळी आणि संध्याकाळी सूर्यकिरणांत चमकणारा तेजस्वी तारा म्हणून तो नजरेस पडला असता. त्याची जलद गती आणि वारंवार होणारे दर्शन यामुळे अनेक निरीक्षकांच्या नजरा त्याने नक्कीच वेधून घेतल्या असत्या; शिवाय खग्रास सूर्यग्रहणाच्या वेळी तर ज्योति:शास्त्रज्ञांची

नजर ह्या दुसऱ्या चंद्राला चुकवता आलीच नसती.

सारांश, पृथ्वीचा आणखी एक उपग्रह अस्तित्वात असल्यास तो पुष्कळदा दिसण्यात आला असता. परंतु असे दृश्य कधीही दिसलेले नाही ही गोष्ट निर्विवाद आहे.

स्वतः चंद्राचा एखादा छोटा उपग्रह असेल, चंद्राचा चंद्र अस्तित्वात असेल अशीही एक कल्पना आहे. तसा चांद्र उपग्रह असलाच तर त्याच्या अस्तित्वाचा प्रत्यक्ष पुरावा मिळविणे फारच कठीण होईल. यासंबंधी मोल्टन हा ज्योतिःशास्त्रज्ञ म्हणतो,

"शुभ्र चांदणे पडलेले असताना, चंद्राच्या अगर सूर्याच्या प्रकाशामुळे, चंद्राच्या समीप एखादा छोटा गोल असल्याचे ओळखून काढणे जमत नाही. चंद्रग्रहणाच्या वेळीच फक्त, चंद्राचा उपग्रह सूर्यकिरणांनी प्रकाशित होईल आणि त्याच्या शेजारचे आकाश चंद्राच्या वितरित प्रकाशापासून मुक्त असेल. म्हणून चंद्राभोवती एखादा छोटा गोल फिरत असल्यास, तो शोधून काढणे चंद्रग्रहणाच्या वेळीच शक्य आहे. त्या उद्देशाने पुष्कळ संशोधन झाले आहे पण त्यातून भरीव असे काहीच निष्पन्न झालेले नाही."

चंद्रावर हवा कां नाही?

काही प्रश्न, उलट फिरवून विचारले तर जास्त स्पष्ट होतात; हा प्रश्न त्या प्रकारचा आहे.

चंद्रावर हवा का नाही हे शोधून काढण्याचा प्रयत्न करण्यापूर्वी प्रथम **आपल्या ग्रहांभोवतीच वातावरणाचे आच्छादन का आहे** हे आपण पाहू. इतर कोणत्याही वायूंप्रमाणे हवादेखील इतस्ततः सर्व दिशांस उडणाऱ्या अणूंचा अव्यवस्थित समुच्चय आहे, हे लक्षात ठेवा. तापमान शून्य अंश असते त्या वेळी **त्या अणूंचा सरासरी वेग** साधारण **दर सेकंदास ०.५ किलोमीटर** एवढा म्हणजे बंदुकीच्या गोळीएवढा असतो. मग **हे अणू अंतराळात उडून का जात नाहीत?** बंदुकीची गोळी ज्या कारणामुळे उडून जात नाही त्याच कारणामुळे. **गुरुत्वाकर्षणाशी टक्कर देण्यात त्याच्या गतीची कार्यशक्ती संपली की हे अणू परत पृथ्वीवर पडतात.** पृथ्वीच्या सपाटीजवळ एक परमाणू दर सेकंदास ०.५ किलोमीटर वेगाने सरळ वर जात आहे अशी कल्पना करा. **हा अणू किती उंचीवर जाईल** हे शोधून काढणे सोपे आहे. कारण वेग **व,** उंची **उ**

आणि गुरुत्वाकर्षणजन्य प्रवेग **ग** या तीन गोष्टी खालील सूत्राने जोडलेल्या आहेत.

व^{२} = २ x **ग** x **उ**

परमाणूचा वेग दर सेकंदास ५०० मीटर आहे. प्रवेग १० मी. / से.^{२} आहे. **व** आणि **ग** च्या जागी हे आकडे टाकल्यास

२५०००० = २ x १० x **उ**

म्हणून **उ** = १२५०० मीटर किंवा १२$\frac{१}{२}$ **किलोमीटर**

पण हवेचे परमाणू १२।। किलोमीटरच्या वर जाऊ शकत नसले, तर **त्यापलीकडे आढळणारी हवा येते कुठून?** आपल्या वातावरणातील ऑक्सिजन पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या जवळच पैदा होतो. (वनस्पतींद्वारा कार्बन डायॉक्साइडमधून). पण अतिसूक्ष्म प्रमाणात का होईना, हवेचे अस्तित्व ५०० किलोमीटर व त्याच्याही वर असल्याचे सिद्ध झाले आहे. एवढ्या उंचीवर ह्या अणूंना कोणती शक्ती चढवते? आपण जर एखाद्या आकडेशास्त्रज्ञाला विचारले की "का हो, मानवी जीवनाची सरासरी मर्यादा ४० वर्षे आहे, तर मग ८० वर्षांचे वृद्ध कसे आढळतात?", तर तो त्या प्रश्नाचे जे उत्तर देईल तेच उत्तर पदार्थविज्ञान वरील प्रश्नाला देते. आपण वर जे गणित केले ते **सरासरी** अणूबाबत बरोबर आहे, प्रत्येक वास्तव अणूबाबत नव्हे. अणूंची सरासरी गती दर सेकंदास ०.५ किलोमीटर असली तरी प्रत्यक्षातल्या अणूंपैकी काही त्याहून अधिक मंद असतात, काही त्याहून अधिक वेगवान असतात. अर्थात ही गोष्ट खरी की सरासरीहून पुष्कळच वेगळा वेग असणाऱ्या अणूंचे प्रमाण मोठे असत नाही आणि जेवढा मोठा फरक घ्यावा तेवढे हे प्रमाण झपाट्याने कमी होत जाते. उदाहरणार्थ, ०°से तापमान असलेला विशिष्ट आकाराचा ऑक्सिजन घेतला तर त्यापैकी फक्त २० टक्के अणूंचा वेग सेकंदास ४०० ते ५०० मीटरच्या दरम्यान असतो; साधारण तेवढ्याच अणूंचा वेग सेकंदास ३०० ते ४०० मीटरच्या दरम्यान असतो; सेकंदास २०० ते ३०० मीटर दरम्यान वेग असणाऱ्यांचे अणूंचे प्रमाण शेकडा १७ असते, ६०० ते ७०० मीटर दरम्यान वेग असणाऱ्यांचे प्रमाण शेकडा ९ असते, ७०० ते ८०० मीटर दरम्यानच्यांचे प्रमाण शेकडा ८ आणि १३०० ते १४०० मीटर दरम्यानच्यांचे प्रमाण फक्त शेकडा १ असते. अणूंपैकी अत्यंत अल्प (एकदशलक्षांश) हिश्श्याचा वेग सेकंदास ३५०० मीटर असतो. असे अणू ६०० किलोमीटर एवढ्या उंचीवर

जाऊ शकतात. कारण $३५००^{२} = २० \text{ उ}$ म्हणून उ = १२,२५०,०००/ २० = ६०० किलोमीटरहून अधिक.

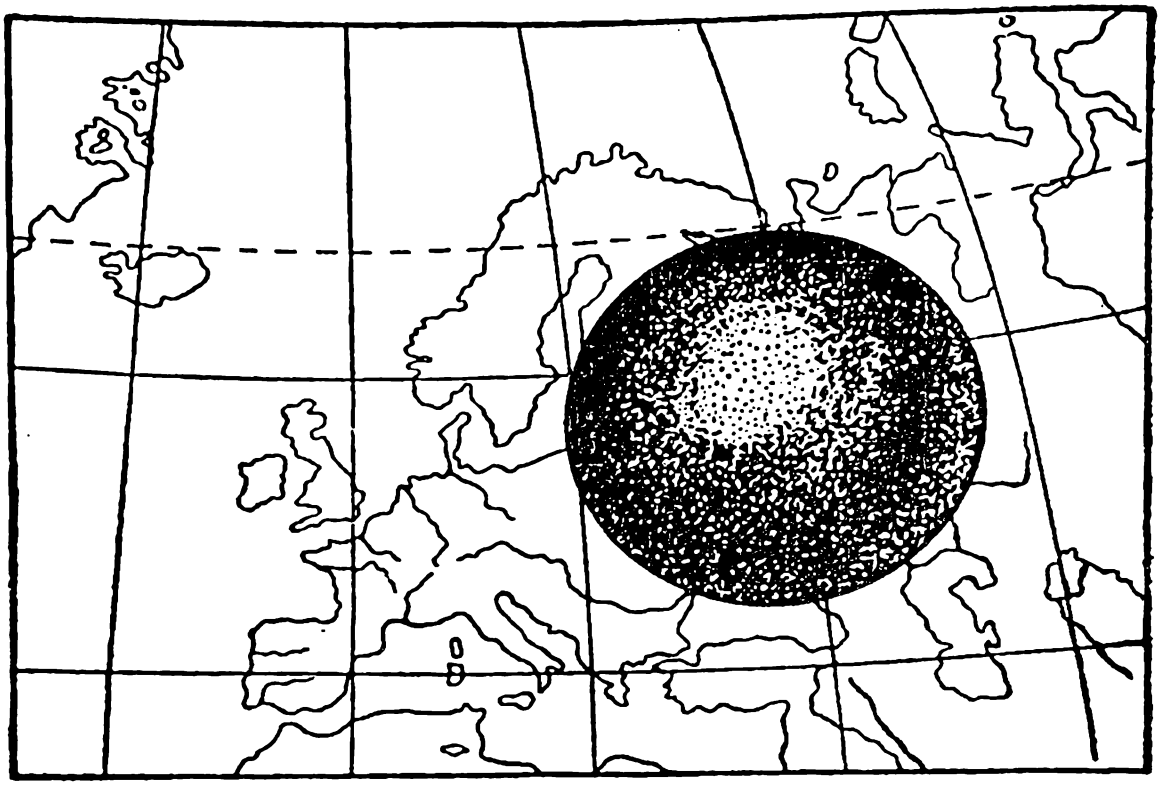
पृथ्वीसपाटीपासून शेकडो किलोमीटर उंचीवरसुद्धा ऑक्सिजनचे कण का असतात हे आपल्याला आता समजले असेल; वायुरूप पदार्थांच्या वास्तव गुणधर्माचा तो परिणाम आहे. **परंतु ऑक्सिजन, नायट्रोजन, वाफ आणि कार्बनडायॉक्साइड यांच्या अणूंच्या ठायी पृथ्वीपासून पूर्णतया निसटून जाण्याएवढा वेग असत नाही.** तसे निसटून जाण्यासाठी वेग किमान दर सेकंदास ११ किलोमीटर असावा लागतो. परंतु तापमान फार कमी असताना उपरोल्लिखित वायूंच्या एखाददुसऱ्या कणाच्या ठायीच एवढा वेग असतो. **यामुळेच तर पृथ्वी आपले वातावरणाचे पांघरूण एवढे घट्ट धरून ठेवू शकते.** पार्थिव वातावरणातील सर्वात हलका वायू हायड्रोजन, त्याच्या एकूण साठ्यांपैकी निम्मा साठा निसटून जावयाचा झाल्यास जो काळ लागेल तो वर्षात मोजल्यास ती संख्या २५ आकड्यांची होईल! आपल्याभोवताली हवेचा जो साठा व तिची जी अंत:रचना आहे त्यात काही बदल व्हायला कोट्यवधी वर्षे लागतील.

एवढे सांगून झाल्यावर **चंद्र असे वातावरण का धरून ठेवू शकत नाही,** हे स्पष्ट करण्यासाठी विशेष काही सांगण्याची गरज नाही. चंद्राचे गुरुत्वाकर्षण पृथ्वीच्या मानाने $\frac{१}{६}$ आहे, अर्थात त्याच्या आकर्षणावर मात करण्यासाठी कमी वेग पुरे आहे. तो वेग दर सेकंदास २३६० मीटर होय. तापमान साधारण असतानाच ऑक्सिजन व नायट्रोजन वायूंच्या अणूंचा वेग याहून जास्त असू शकतो, यामुळे चंद्रावर वातावरण तयार झाले तरी चंद्र ते सतत गमावूनच बसेल. सर्वात जलद अणू प्रथम निसटून जातील, नंतर इतर अणूही हा सीमान्त वेग धारण करतील. (वायूच्या अणूमधील वेगाच्या वितरणासंबंधीच्या नियमांचा हा परिणाम होय.) आणि अशा तऱ्हेने वातावरणातील अणू सतत वाढत्या संख्येने कायमचे निसटून जातील. विश्वाच्या दृष्टीने नगण्य, परंतु आपल्या दृष्टीने पुरेसा दीर्घ काळ लोटल्यानंतर चंद्रासारखे दुर्बल आकर्षण असणाऱ्या खस्थ गोलावरून सर्व हवा पळून जाईल.

गणित करून हे सिद्ध करता येईल की एखाद्या ग्रहाच्या वातावरणातील अणूंचा सरासरी वेग सीमान्त वेगाच्या एकतृतीयांशच असला (म्हणजे चंद्रावर $\frac{२३६०}{३}$ = ७९० मीटर/सेकंद) तरी काही आठवड्यांच्या आतच, असे वातावरण निम्म्यावर येईल. (हवेच्या अणूंचा सरासरी वेग सीमान्त वेगाच्या $\frac{१}{५}$ असेल

तरच वातावरण खस्थ गोलास स्थिर चिकटून राहील.)

जेव्हा माणूस चंद्रावर पोचेल तेव्हा तो चंद्राभोवती कृत्रिम वातावरण तयार करील आणि अशा तऱ्हेने चंद्रास वस्तीलायक बनवील अशी एक कल्पना, किंवा स्वप्न म्हणा मांडण्यात आले आहे, परंतु वर जे काही सांगितले त्यावरून वाचकांच्या लक्षात येईल की असला उद्योग अशक्य कोटीतला आहे. चंद्रावर वातावरण नाही हा योगायोग नाही किंवा निसर्गाची लहर नाही, ती वास्तव नियमांची तर्कशुद्ध परिणती आहे.



आकृती ३७ : चंद्र आणि युरोप खंड यांची तुलना. (चंद्राच्या पृष्ठभागाचा विस्तार युरोपखंडाच्या विस्ताराहून कमी आहे असा गैरसमज मात्र करून घेऊ नका.)

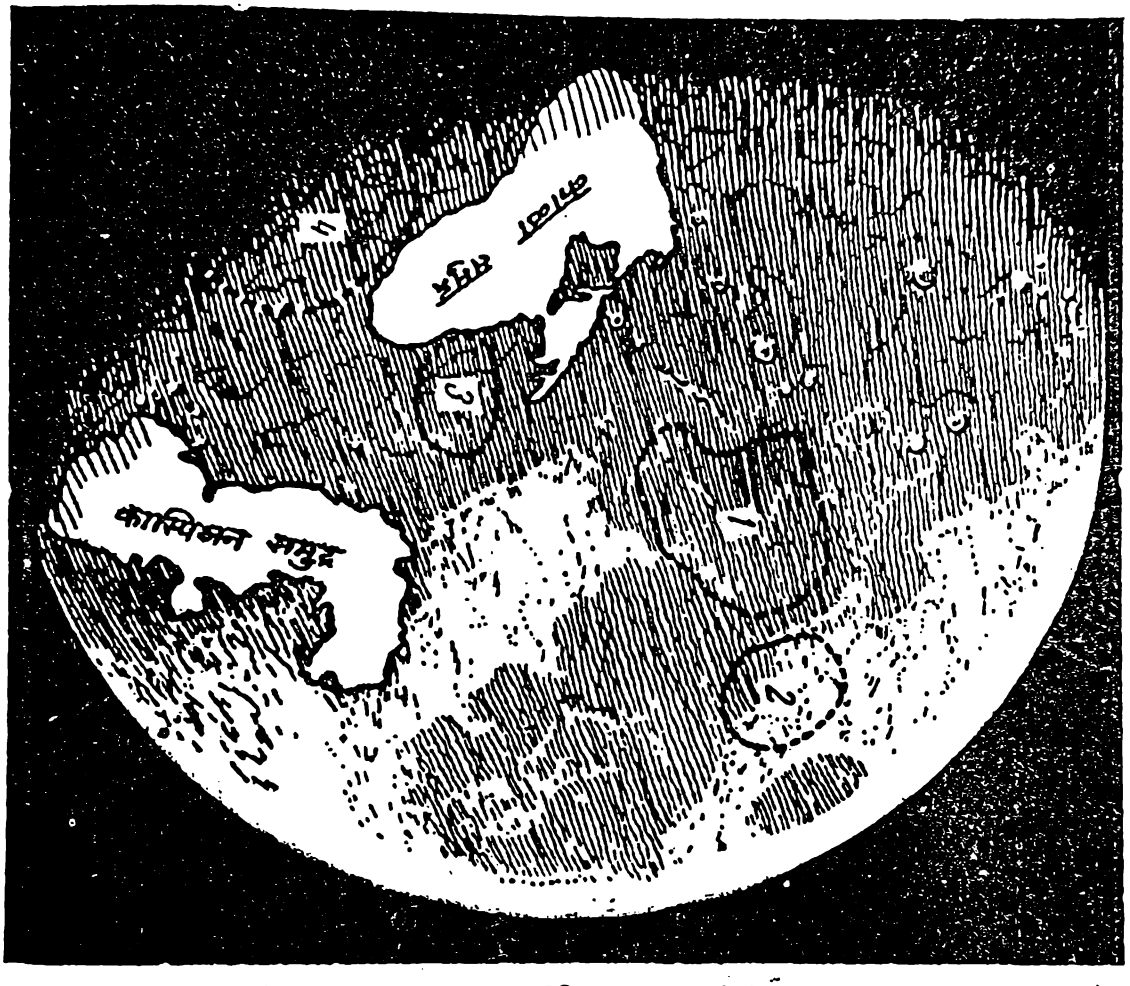
चंद्रावर वातावरणाचा अभाव असण्याची जी कारणे वर दिली त्यावरून लघुग्रह, बहुतेक ग्रहांचे उपग्रह यांसारख्या दुर्बल गुरुत्वाकर्षण असलेल्या सर्व खस्थ गोलांवर वातावरणाचा अभाव का असतो हेही स्पष्ट होईल.*

---

* १९४८ साली मॉस्कोचे ज्योतिःशास्त्रज्ञ वाय. एन. लिप्स्की यांना चंद्रावर वातावरणाचा पत्ता आढळल्याचे समजते. परंतु चंद्रावरील वातावरणाचा एकूण साठा पृथ्वीच्या वातावरणाच्या एकलक्षांशाहून अधिक असणे शक्य नाही. – **संपादक**

चंद्राचा आकार

चंद्राच्या आकारासंबंधी, उदाहरणादाखल त्याचा व्यास, (३५०० किलोमीटर) त्याचा पृष्ठभाग आणि घनफळ याविषयी, आकड्यांच्या रूपात बरीच माहिती मिळू शकते. पण आकडे गणितासाठीं अत्यावश्यक असले तरी आपल्या मन:चक्षूंपुढे आकाराचे हवे तसे चित्र ते उभे करू शकत नाहीत. त्यासाठी ठोस तुलना करणेच जास्त उपयुक्त होईल.



आकृती ३८ : चांद्र 'समुद्र' आणि पार्थिव समुद्र यांची तुलना. काळा समुद्र आणि कास्पियन समुद्र यांना जर चंद्रावर नेले तर ते सर्व चांद्र समुद्रांहून मोठे ठरतील. (१. न्युबिअम समुद्र ड मेरे न्युबिअम . २. न्युमोरम् समुद्र, ३. व्हेपोरम् समुद्र, ४. सेरेनितातीस समुद्र.)

पृथ्वीवरच्या खंडांशी आपण चंद्राची—सबंध चंद्र एकच भूखंड आहे—तुलना करू. (आकृती ३७ पहा.). चंद्राचा एकूण पृष्ठभाग पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या $\frac{1}{18}$ आहे. ह्या शुष्क कल्पनेपेक्षा अशा तुलनेने जास्त बोध होईल. चौरस किलोमीटरमध्ये मोजल्यास **आपल्या उपग्रहाचे क्षेत्रफळ उभय अमेरिका खंडांपेक्षा**

किंचित कमी आहे आणि पृथ्वीकडे वळलेला व आपल्याला दिसणारा त्याचा पृष्ठभाग विस्ताराने जवळ जवळ दक्षिण अमेरिकाएवढाच आहे.

आकृती ३९ : चंद्रावरील चक्राकार किंवा विवराकृती डोंगराचा एक नमुना.

चांद्र 'समुद्रांच्या' विस्तारांची पार्थिव जलाशयांशी तुलना करून दाखविण्यासाठी आकृती ३८ मध्ये चंद्राच्या नकाशावर तेच प्रमाण घेऊन काळा समुद्र व कास्पियन समुद्र दोहोंच्या रूपरेषा काढल्या आहेत. त्यावरून सहज लक्षात येते की चंद्रबिंबाचा बराच भाग ह्या 'समुद्रांनी' व्यापलेला असला तरी ते 'समुद्र' फारसे विस्तीर्ण नाहीत. उदाहरणार्थ, मेर सेरेनितातीस हा 'समुद्र' विस्ताराने १,७०,००० चौरस किलोमीटर आहे, म्हणजे कास्पियन समुद्राच्या मानाने साधारण $\frac{३}{८}$ आहे.

या उलट चंद्रावरचे चक्राकार डोंगर किंवा ज्वालामुखीची विवरे एवढी मोठी आहेत की पृथ्वीवरची विवरे त्यांच्यापुढे फारच लहान वाटतात. उदाहरणार्थ, ग्रिमाल्डी हा चक्राकार डोंगर विस्ताराने बैकाल सरोवरापेक्षा मोठा आहे आणि बेल्जियम किंवा स्वित्झर्लंडसारखा छोटा देश त्यात राहू शकेल.

चंद्रावरील सृष्टिचित्र

पुस्तकातून चंद्राच्या पृष्ठभागाची अनेक छायाचित्रे आतापावेतो प्रसिद्ध झालेली आहेत. तेव्हा चंद्रावरील भूप्रदेशाची ठळक वैशिष्ट्ये, चक्राकार डोंगर

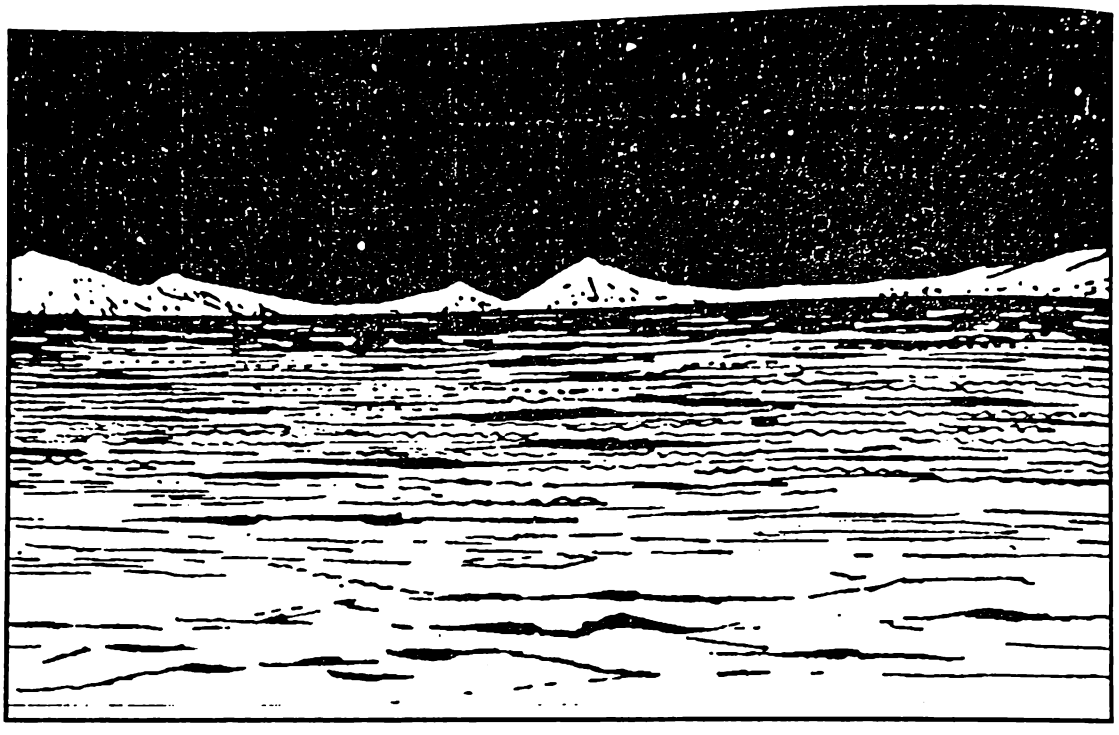
किंवा विवरे (आकृती ३९) इत्यादी, कशी असतात याची काही कल्पना वाचकांना असेल असे मी धरून चालतो. काही वाचकांनी तर छोट्या दुर्बिणीतून चंद्रावरचे डोंगर पाहिलेदेखील असतील. ३ सेंटीमीटरचे भिंग असलेली दुर्बीण त्यासाठी पुरेशी आहे.

परंतु **खुद्द चंद्रावरच्याच निरीक्षकाला तेथला भूप्रदेश कसा दिसत असेल** याची कल्पना छायाचित्रांवरून किंवा दुर्बिणीतल्या दृश्यांवरून येणार नाही. चांद्र डोंगराजवळच्या निरीक्षकाला ते डोंगर वेगळ्याच कोनांतून दिसतील. मोठ्या उंचीवरून पाहिल्यास वस्तू जशी दिसते त्याहून जवळून पाहिल्यास ती निराळीच दिसते. काही उदाहरणांवरून हा मुद्दा स्पष्ट होईल. पृथ्वीवरील निरीक्षकाला चंद्रावरचा **एरॅटोस्थेनीस पर्वत** चक्राकार दिसतो आणि आत एक शिखर दिसते. दुर्बिणीतून पाहिल्यास तो उभा वाटतो आणि अगदी स्पष्ट रेखीव सावल्यामुळे तो उठून दिसतो. परंतु त्याच्या रूपरेषेकडे पहा. (आकृती ४०). त्यात तुम्हाला दिसेल की त्याच्या चक्राकृतीच्या ६० किलोमीटर एवढ्या प्रचंड व्यासाच्या मानाने त्याच्या भिंती व आतली शंकुरूप शिखरं फार ठेंगणी आहेत, शिवाय

आकृती ४० : विवराकृती डोंगराच्या बाजूकडून दिसणारी रूपरेषा.

त्यांच्या सौम्य उतारामुळे त्यांची उंची अधिकच कमी भासते. आता समजा तुम्ही ह्या डोंगराच्या आत फिरत आहात. त्याचा व्यास लाडोगा सरोवर आणि फिनलंडचे आखात यांमधील अंतराएवढा आहे हे विसरू नका. यामुळे आतमधून ह्या पर्वतराजीचा गोल आकार तुमच्या लक्षात येणे कठीणच. शिवाय आतील जमीन खोलगट असल्यामुळे पर्वताचा पाया पुसटच दिसेल, कारण चंद्रावरचे क्षितिज पृथ्वीच्या मानाने फक्त निमपट असते. (याचे कारण चंद्राचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या $\frac{१}{४}$ आहे.) पृथ्वीवर सपाट मैदानावर सरासरी उंचीचा माणूस उभा राहिल्यास त्याची नजर ५ किलोमीटरपर्यंत पोचते. क्षितिजाचे अंतर शोधण्याचे सूत्र **अ** = $\sqrt{२ \times \text{त्रि} \times \text{उ}}$ आहे, त्यात **अ** = क्षितिजाचे अंतर **त्रि**= ग्रहाची त्रिज्या आणि **उ**=डोळ्यांची उंची. ही सर्व अंतरे किलोमीटर्समध्ये घ्यावयाची. ह्या सूत्रांतील अक्षरांऐवजी पृथ्वी आणि चंद्र यांना अनुरूप ते आकडे टाकल्यास आपल्याला आढळेल की सरासरी उंचीच्या माणसाच्या दृष्टीने क्षितिज पृथ्वीवर ४.८ किलोमीटर व चंद्रावर २.५ किलोमीटर दूर असते.

चंद्रावरील **मेट्रोपॉलिटन चक्राकार डोंगराच्या आतून निरीक्षकाला काय दिसेल** हे आकृती ४१ मध्ये दाखविले आहे. (त्यातील दृश्य दुसऱ्या एका मोठ्या डोंगराचे, आर्किमिडीसचे आहे.) या आकृतीत दूर क्षितिजावर टेकड्यांची राग असणारे जे दृश्य दिसते ते चंद्रावरील चक्राकार डोंगराविषयींच्या आपल्या कल्पनाचित्रापेक्षा केवढे भिन्न आहे, नाही का?



आकृती ४१ : चंद्रावरच्या एखाद्या विवराकृती डोंगराच्या आतमधून भोवताली काय दिसेल?

तसेच डोंगराच्या भिंती चढून **बाहेरच्या बाजूस गेल्यानंतर** निरीक्षकाला अपेक्षेहून वेगळेच दृश्य दिसेल. चक्री डोंगराचा बाहेरचा उतार एवढा मंद आहे की आपण डोंगरावर आहोत असे त्याला वाटणारच नाही. मुख्य गोष्ट म्हणजे डोंगर चक्राकार आहे आणि त्यात गोल विवर आहे ही गोष्ट त्याला सुचणारच नाही! तसे दृश्य दिसायला त्याला शिखर ओलांडावे लागेल आणि तेवढा उद्योग केल्यावरही वर म्हटल्याप्रमाणे विशेष उल्लेखनीय असे काही दृष्टोत्पत्तीस येणार नाहीच.

ह्या प्रचंड चक्री डोंगराखेरीज चंद्रावर दुसरे अनेक छोटे छोटे विवराकृती डोंगर वा टेकड्या आहेत आणि जवळपासच्या निरीक्षकाला ते सहज दृष्टीस पडतील. परंतु त्यांची उंची क्षुल्लक असल्यामुळे त्याला त्यात असाधारण असे काही आढळणार नाही. उलटपक्षी आल्पस्, कॉकेशस, ॲपिनाइन्स अशी

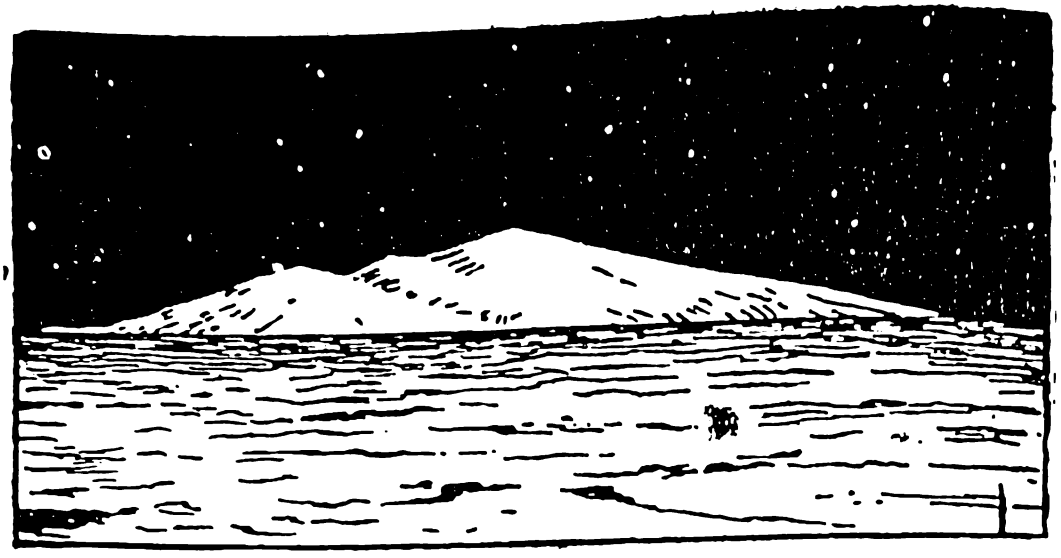
पृथ्वीवरचीच नावे दिलेल्या ज्या पर्वतराजी चंद्रावर आहेत त्या मात्र पृथ्वीवरच्या पर्वतांशी स्पर्धा करणाऱ्या आहेत. त्यातले **काही पर्वत ७ ते ८ किलोमीटर उंच आहेत.** तुलनात्मक दृष्ट्या लहान असणाऱ्या चंद्रावर हे **पर्वत विशेष छाप पाडतात.**

चंद्रावर हवा नाही आणि त्यामुळे प्रकाश व छाया यातील तफावत तेथे स्पष्ट जाणवते; यामुळे दुर्बिणीतून पाहताना **एक उल्लेखनीय आभास** निर्माण होतो; पृष्ठभागावर जर अगदी लहानसा उंचवटा असला तरी तो फार उठून दिसतो. अर्धा कापलेला वाटाणा कागदावर ठेवून पहा. तो किती लहान असतो, पण त्याची छाया केवढी लांबलचक पडते! (आकृती ४२). प्रकाश बाजूने येत असल्याकारणाने चंद्रावरची छाया मूळ वस्तूपेक्षा २० पट लांब असू शकते.

आकृती ४२ : प्रकाश बाजूने येत असल्यास अर्ध्या वाटाण्याची छायादेखील लांबलचक असते.

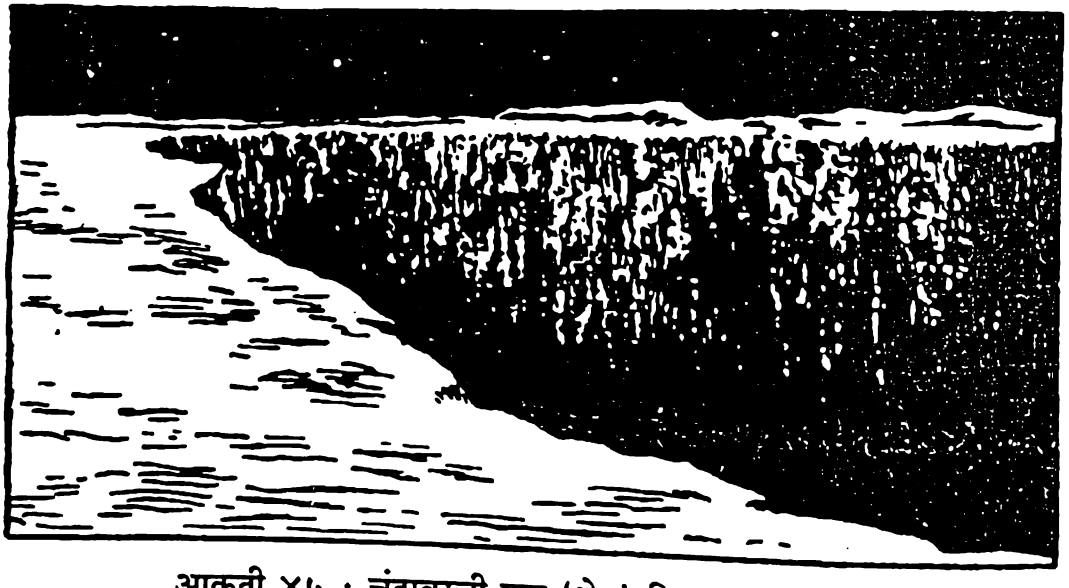
ज्योतिःशास्त्रज्ञांच्या दृष्टीने हा चमत्कार म्हणजे वरदानच आहे. कारण त्यामुळे त्यांना अवघ्या ३० मीटर उंचीच्या वस्तूंचे दुर्बिणीतून निरीक्षण करणे सोपे जाते. पण त्याचमुळे चांद्र पृष्ठावरचा उंचसखलपणा आपल्याला अतिरंजित स्वरूपात दिसतो. उदाहरणार्थ, पिको पर्वत दुर्बिणीतून पाहिल्यास तो एवढा स्पष्ट उठून दिसतो की तो एक उभा सुळका असावा अशीच आपली समजूत होते. (आकृती ४३) आणि वस्तुतः पूर्वी तो तसाच दाखविण्यात येत असे. परंतु तोच पर्वत चंद्रावर पाहिल्यास वेगळेच दृश्य, आकृती ४४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दिसेल.

आकृती ४३ : दुर्बिणीतून पाहताना पिको पर्वत उंच उभ्या सुळक्यासारखा दिसतो.



आकृती ४४ : चंद्राच्या पृष्ठभागावरून पिको पर्वत एक मंद उताराचा पर्वत दिसतो.

वर चंद्रावरचे काही भाग कसे अतिरंजित स्वरूपात दिसतात हे आपण पाहिले. उलट चंद्रावरचे दुसरे काही भाग आपण कमी लेखतो. दुर्बिणीतून पाहताना काही बारीकशा, **जेमतेम दृष्टीस पडणाऱ्या भेगा** आढळतात आणि चांद्र प्रदेशाची ती दुय्यम दर्जाची वैशिष्ट्ये असावीत, असे मानण्याकडे कल होतो. पण चंद्रावर गेलो तर अशी एखादी भेग म्हणजे **क्षितिजापर्यंत गेलेली खोल अंधारी दरी असल्याचे आपणाला दिसेल.** (आकृती ४५).



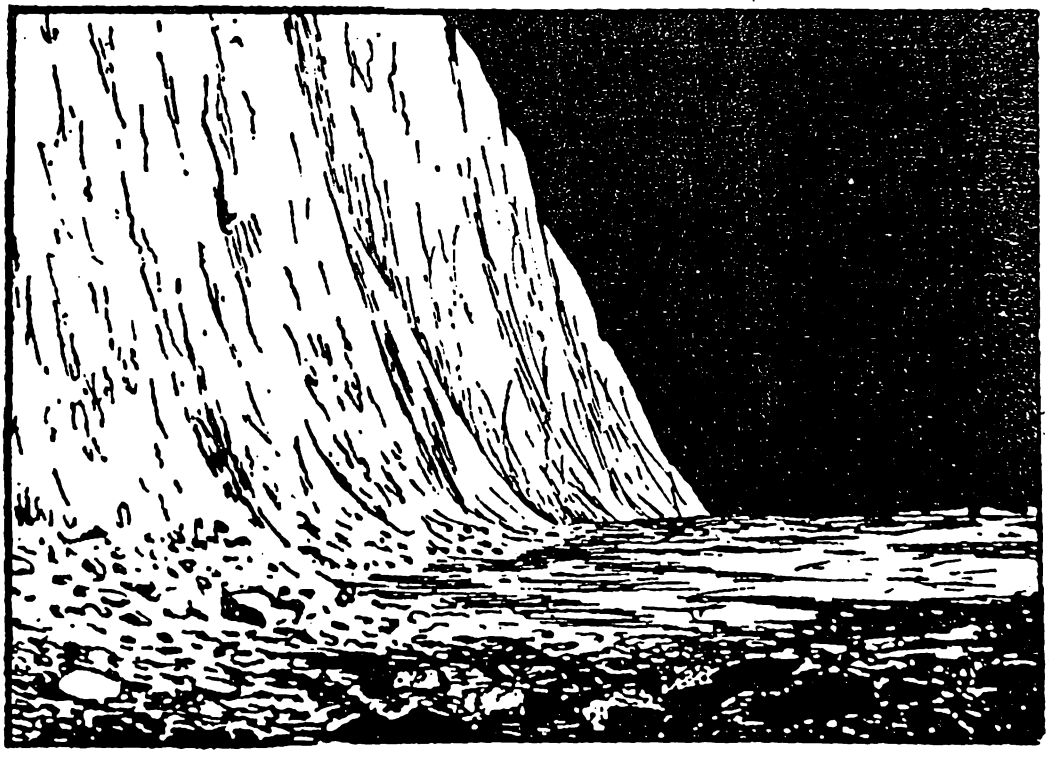
आकृती ४५ : चंद्रावरची एक 'भेग' तिच्या काठावरून.

दुसरे एक उदाहरण घ्या. चंद्रावर एक **'उभी भिंत'** नावाचा भाग आहे. तो चंद्रावरील एका मैदानाच्या आरपार जाणारा उंच उभा फलाट आहे.

चंद्राचा नकाशा (आकृती ४६) पाहताना ही भिंत ३०० मीटर उंच आहे हे आपण विसरतो; पण जर का तिच्या पायथ्याशी आपण उभे असलो तर

आकृती ४६ : चंद्रावरची तथाकथित 'उभी भिंत' (दुर्बिणीतून दिसते तशी)

तिच्या भव्यतेने आपले डोळे दिपून जातील. आकृती ४७ मध्ये तळाशी असलेल्याला भिंत कशी दिसेल हे दाखविण्याचा प्रयत्न चित्रकाराने केला आहे. तिचा शेवट क्षितिजात लुप्त होतो. कारण तिची लांबी जवळ जवळ १००



आकृती ४७ : 'उभ्या भिंतीच्या' पायथ्याशी उभा राहणाऱ्याला ती अशी दिसेल.

किलोमीटर आहे! आणि अगदी त्याचप्रमाणे, शक्तिशाली दुर्बिणीतून चंद्रावर ज्या भेगा जेमतेम दिसतात त्या स्वभावतः प्रचंड दऱ्याच असल्या पाहिजेत. (आकृती ४५).

चंद्रावरचे आकाश (गर्द काळे छत)

पृथ्वीवरचा माणूस चंद्रावर पोचला तर **तीन असाधारण गोष्टी** त्याचे लक्ष ताबडतोब वेधून घेतील.

एकतर दिवसाउजेडी चंद्रावरील **आकाशाचा विलक्षण रंग** त्याला चकित करून सोडील. कारण वरचे छत नेहमीप्रमाणे निळे असण्याऐवजी, वर सूर्य तळपत असतानासुद्धा पूर्ण काळे असेल. त्यात असंख्य ताऱ्यांचे स्पष्ट दर्शन घडेल, परंतु त्यातला एकही झगमगताना दिसणार नाही. याचे कारण वातावरणाचा अभाव.

आपल्या चित्तवेधक भाषेत फ्लामारिअन म्हणतो, "स्वच्छ आणि निरभ्र आकाशाचे निळेशार छत, पहाटेची गुलाबी झाक आणि संध्यासमयीचा भव्य अग्निलोळ, वाळवंटाचे मनोहर सौंदर्य, धुक्याच्या तलम वस्त्राखाली पहुडेलली विस्तीर्ण शेते आणि कुरणे, दूरचे निळे आकाश प्रतिबिंबित करणारी आणि पाताळाचा ठाव घेणारे खोल पाणी असलेली स्फटिकासारखी सरोवरे ह्या सर्वांचे अस्तित्व, ह्या सर्वांचे सौंदर्य आपल्या पार्थिव गोलास आच्छादणाऱ्या त्या विसविशीत आवरणावरच केवळ अवलंबून आहे. ते नसते तर त्यांपैकी एकही बहारदार रंग दृष्टीस पडला नसता. निळ्याशार आकाशाऐवजी आपल्या सभोवती अनंत पोकळीचा कृष्णवर्ण पसरला असता. सूर्याच्या भव्य उदयास्ताऐवजी, दिवसरात्रीच्या त्या हळुवार मीलनाऐवजी, दिवस एकाएकी रात्रीत लोपला असता आणि रात्र दिवसात. सूर्याचे प्रखर किरण जेथे सरळ पडत नाहीत अशा जागी जो सौम्य अर्धप्रकाश आपणाला जाणवतो तो जाऊन केवळ त्या दिनराजाच्या किरणांनी प्रत्यक्ष उजळलेल्या जागेतच प्रकाश बंदिस्त झाला असता आणि बाकी सर्वत्र काळ्याकुट्ट छायेचे साम्राज्य पसरले असते."

वातावरण किंचित विरळ झाले तरी आकाशाचा निळा रंग काळसर बनू लागतो. वातावरणाच्या उच्च थरांत जाऊन नंतर दुर्दैवाने नाश पावलेल्या 'ओसोआविआखिम' ह्या सोविएत बलूनमधील नाविकांना २१ किलोमीटर उंचीवर गेल्यानंतर आकाश जवळ जवळ कृष्णवर्णीच दिसले होते. वरील उताऱ्यात निसर्गातील प्रकाशरचनेचे जे चित्र रेखाटले आहे ते चंद्राला पूर्णपणे

लागू पडते. तेथे आकाश काळे आहे. पहाटे आणि संध्याकाळी तेथे संधिप्रकाश असत नाही. सूर्यकिरणांच्या वर्षावाखालचा भाग डोळे दिपवून टाकण्याएवढा लखलखीत असतो तर बाकीचा भाग काजळासारखा अंधारात लुप्त झालेला असतो. तेथे प्रकाशाच्या वेगवेगळ्या छटांना वावच नसतो!

चंद्रावरून होणारे पृथ्वीचे दर्शन

चांद्र आकाशातील **दुसरे विलक्षण दृश्य म्हणजे त्यात लटकणारे पृथ्वीचे प्रचंड बिंब.** चंद्राप्रत उड्डाण करतेवेळी जी पृथ्वी आपल्याखाली असल्याचे वाटत होते ती आता एकाएकी डोक्यावर आल्याचे पाहून आपणाला थोडे विचित्रच वाटेल.

अर्थात सर्वच जगाच्या दृष्टीने वर आणि खाली असतील अशा दिशा विश्वात नाहीत. तेव्हा निघताना जी पृथ्वी पायाखाली होती ती चंद्रावर उतरल्यानंतर डोक्यावर दिसावी यात नवल वाटण्याचे काहीच कारण नाही.

चांद्र अंतरिक्षात लोंबणारे **पृथ्वीबिंब अजस्र आकाराचे** आहे. पृथ्वीवरून दिसणाऱ्या परिचित चंद्रबिंबापेक्षा त्याचा व्यास अदमासे चौपट भरेल. आपल्या चंद्रपर्यटकाला चकित करणारी तिसरी एक गोष्ट आहे. चांदण्या रात्री आपल्या इकडच्या प्रदेशात साधारण उजळ प्रकाश पडतो, तर चंद्राहून विस्ताराने १४ पट मोठे बिंब असणाऱ्या **पृथ्वीपासून येणाऱ्या प्रकाशात चंद्रावरची रात्र** अतिशयच उजळ असायला पाहिजे. कोणत्याही तेजाचा तेजस्वीपणा त्याच्या व्यासाप्रमाणेच त्याच्या पृष्ठभागाच्या परावर्तनशक्तीवरदेखील अवलंबून असतो. ह्या शक्तीच्या बाबतीत पृथ्वीचा पृष्ठभाग चंद्राच्या पृष्ठभागाहून सहापट कार्यक्षम आहे;* तेव्हा आपल्या इकडच्या पौणिमेच्या चांदण्याच्या मानाने चंद्रावरचे पूर्ण-पृथ्वीचे चांदणे निदान ९० पट अधिक तेजस्वी हवे! पूर्ण पृथ्वीच्या प्रकाशात चंद्रावरच्या माणसाला बारीक अक्षरांतले पुस्तक सहज वाचता येईल. पृथ्वीचा चंद्रावर पडणारा उजेड एवढा प्रखर असतो की ४ लक्ष किलोमीटर दुरून

---

* चंद्राचा पृष्ठभाग पांढरा असावा ही सामान्य समजूत चुकीची आहे; तो काळसर आहे असे म्हणणे अधिक योग्य होईल. चंद्राचा प्रकाश पांढरा असतो या गोष्टीशी हा काळसरपणा विसंगत नाही. प्रकाशावरील आपल्या ग्रंथात टिंडाल म्हणतो त्याप्रमाणे "काळ्या वस्तूवरून परावर्तित झालेला सूर्यप्रकाशही पांढरा असतो. चंद्राभोवती काळ्याभोर मखमलीचे आवरण घातले तरी चंद्रबिंब रुपेरीच दिसेल." चांद्र भूपृष्ठाची सूर्यप्रकाशाचे विकरण करण्याची शक्ती साधारणपणे काळ्या **अग्निजन्य** पाषाणाच्या विकरणशक्तीएवढी आहे.

पाहणाऱ्या आपणालासुद्धा चंद्राचा रात्रव्याप्त भाग तेजस्वी चंद्रकोरीच्या आत अंधुक उजळलेला दिसतो.

आकाशात ९० पूर्ण चंद्र चांदण्याचा वर्षाव करीत आहेत अशी कल्पना करा आणि त्यातच प्रकाशाचा काही भाग अडवून ठेवणारे वातावरण चंद्रावर नाही ही गोष्ट जमेस धरा, म्हणजे मग पूर्ण पृथ्वीच्या प्रकाशात न्हाऊन निघणाऱ्या रात्रिव्याप्त चांद्र प्रदेशाचे मोहक, कल्पनारम्य दृश्य कसे दिसत असेल याची कल्पना येईल!

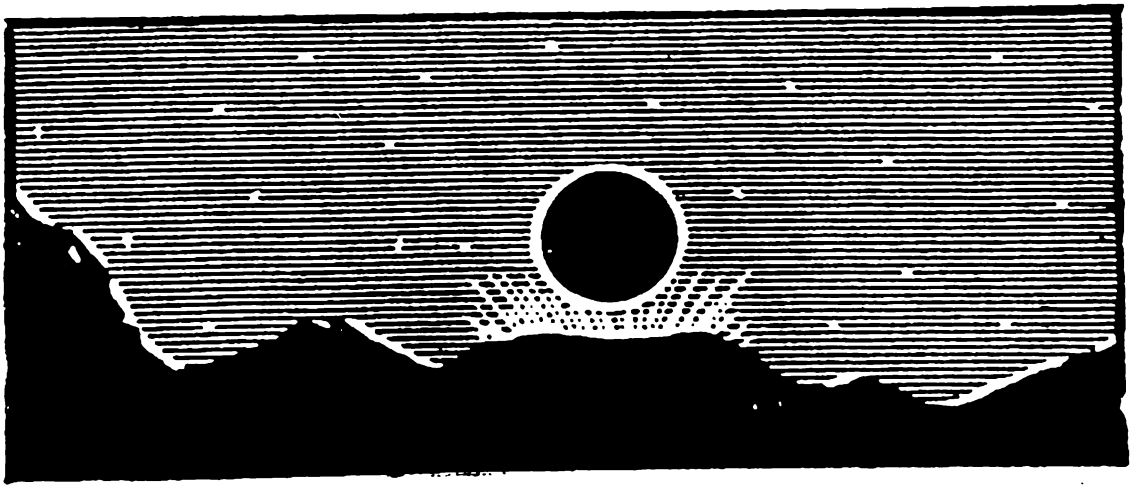
चंद्रावरील निरीक्षकाला पृथ्वीबिंबावर खंडांच्या आणि सागरांच्या रूपरेषा दिसतील का? शाळेत पृथ्वीचा गोळा असतो त्याप्रमाणेच पृथ्वी चंद्रावरून दिसत असेल अशी चुकीची समजूत बरीच प्रचलित आहे. निदान चित्रकार जेव्हा अंतरिक्षातल्या पृथ्वीचे चित्र काढतात तेव्हा ती तशी दाखवतात. तिच्यावर खंडांच्या व ध्रुव प्रदेशांतील बर्फमय टोपीच्या रूपरेषा आणि इतर तपशील ते दाखवितात. परंतु तो सर्व कल्पनेचा खेळ आहे. चंद्रावरून तसे काही दिसणार नाही. साधारण पृथ्वीचा अर्धा भाग ढगांनी झाकलेला असतो ही गोष्ट सोडली तरी आपले वातावरणच सूर्यकिरण पुष्कळ विखरून टाकीत असते; त्यामुळे पृथ्वी शुक्राप्रमाणेच अत्यंत तेजस्वी आणि निरीक्षणाच्या मर्यादेबाहेर असल्याचे दिसेल. याबाबत संशोधन करणारे पुल्कोवो वेधशाळेचे ज्योतिःशास्त्रज्ञ जी. ए. तिखोव म्हणतात, "अंतरिक्षातून पृथ्वीकडे पाहिल्यास साधारण पांढुरक्या आकाशाच्या रंगाचे बिंब आपणाला दिसेल आणि तिच्या पृष्ठभागाचा कोणताही तपशील तेथून ओळखणे जवळ जवळ अशक्य असेल. पृथ्वीवर येणारा बहुतेक सूर्यप्रकाश, जमिनीवर पोचण्यापूर्वीच वातावरणात विखुरला जातो. प्रकाशाचा जो भाग भूपृष्ठावरून परावर्तित होतो तोदेखील वातावरणजन्य विकरणाने आणखी कमजोर होतो."

यामुळे चंद्राच्या पृष्ठभागाचे तपशील आपण स्पष्ट पाहू शकत असलो तरी **पृथ्वी मात्र वातावरणाच्या चकचकीत बुरख्याआड आपला चेहरा चंद्रापासून आणि खरे म्हणजे साऱ्या विश्वापासून लपवीत असते!**

परंतु चंद्र आणि पृथ्वी यांमधील फरक तेवढाच नाही. आपल्या आकाशात चंद्र उगवत-मावळत असतो आणि तारकांच्या छताबरोबर प्रवास करतो. पण **चांद्र आकाशात पृथ्वी** तसे करीत नाही. ती तेथे **उदय वा अस्त पावतच नाही** आणि नक्षत्रांच्या अत्यंत मंद संचलनात भागही घेत नाही. **ती आकाशात जवळ जवळ स्थिर असते** आणि तिचे आकाशातले स्थान चंद्राच्या प्रत्येक भागासाठी

ठरलेले असते. नक्षत्रे मंद गतीने तिच्या मागे सरकत असतात. याच्या बुडाशी आपण वर पाहिलेले चांद्र गतीचे वैशिष्ट्य आहे, ज्या वैशिष्ट्यापायी चंद्राची एकच बाजू नेहमी पृथ्वीकडे वळलेली असते. चांद्र निरीक्षकाला पृथ्वी आकाशात जवळ जवळ स्थिर असल्याचे दिसेल. उदाहरणार्थ, पृथ्वी जर एखाद्या चक्री डोंगराच्या माथ्यावर असेल तर ती तेथेच सदैव राहील. क्षितिजावर दिसत असल्यास ती तेथच राहील. वर ज्या चांद्र आंदोलनाचा उल्लेख केला आहे त्यामुळेच फक्त त्या स्थिर स्थितीत किंचित फरक पडेल. पृथ्वीबिंबाच्या मागे नक्षत्रे २७ $\frac{१}{३}$ दिवसांत एक प्रदक्षिणा पूर्ण करतात, सूर्य २९ $\frac{१}{२}$ दिवसांत एक फेरा करतो. ग्रहदेखील असेच फिरत असतात आणि फक्त पृथ्वी त्या काळ्या आकाशात जवळ जवळ स्थिर असते.

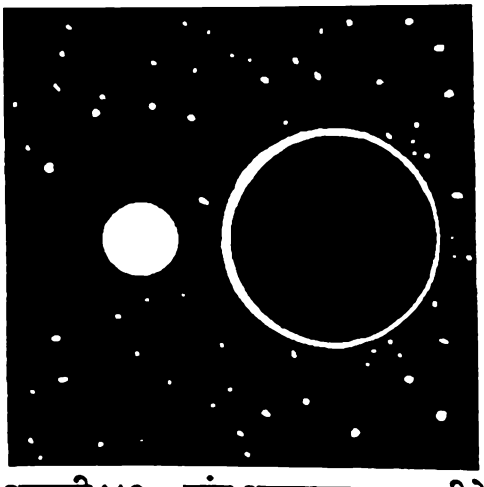
परंतु एकाच जागी स्थिर असली तरी तेथे २४ तासांत पृथ्वी एक अक्षभ्रमण करीतच असते आणि आपले वातावरण पारदर्शक असते तर भावी अंतरीक्ष नौकांतील प्रवाशांना पृथ्वीचा घड्याळ म्हणून अगदी सोयिस्कर उपयोग झाला असता! त्याचप्रमाणे आपल्या आकाशात **जशी चंद्राची क्षय-वृद्धी होत असते तशीच पृथ्वीची चंद्रावरील आकाशात होत असते.** यामुळे पृथ्वीचे पूर्ण बिंब चंद्रावर नेहमी दिसत नाही. कधी ती अर्धगोलाकार दिसते, कधी तिची कमी अधिक अरुंद कोर दिसते, कधी अपूर्ण गोलाकार दिसते. तिच्या सूर्यप्रकाशित गोलार्धाचा जो भाग चंद्राकडे वळलेला असेल त्याप्रमाणे हा आकार दिसतो. सूर्य, पृथ्वी आणि चंद्र यांच्या सापेक्ष स्थितींच्या आकृत्या काढल्यास तुमच्या सहज लक्षात येईल की पृथ्वी आणि चंद्र यांच्या कला मात्र परस्परविरुद्ध असतात.



आकृती ४८ : चंद्रावरील 'अमावास्येचे' पृथ्वीदर्शन. पृथ्वीच्या काळ्या बिंबाभोवती तिच्या चमकत्या वातावरणाच्या उज्ज्वल कंकणाचा वेढा आहे.

आपल्याकडे जेव्हा अमावास्या असते तेव्हा चंद्रावर पृथ्वीचे पूर्ण बिंब दिसते आणि उलट जेव्हा आपण पूर्ण चंद्राचे दर्शन घेत असतो तेव्हा चांद्र आकाशात पृथ्वीचा पूर्ण क्षय झालेला दिसतो. (आकृती ४८). जेव्हा आपल्याला चंद्राची कोर दिसते तेव्हा चंद्रावरच्या माणसाला पृथ्वीचे बिंब तेवढीच कोर वगळून दिसते. जाता जाता सांगायचे म्हणजे पृथ्वीच्या कला चंद्राप्रमाणे रेखीवपणे बदलत नाहीत. पृथ्वीचे वातावरण मर्यादारेषा पुसट बनविते आणि दिवस व रात्र यांमधील स्थित्यंतर हळूहळू घडवून आणते; हाच चमत्कार आपणास येथे संधिप्रकाश म्हणून जाणवतो.

शिवाय पृथ्वी व चंद्र यांच्या क्षय-वृद्धीत आणखी एक फरक आहे. पृथ्वीवर अमावास्येच्या दिवशी आपल्याला चंद्र मुळीच दिसत नाही. वस्तुत: त्या वेळी तो बहुधा सूर्याच्या वर किंवा खाली अंतरावर असतो, (हे अंतर कधी कधी ५ अंशाएवढे म्हणजे त्याच्या व्यासाच्या १० पट असते) आणि म्हणून तेव्हासुद्धा चंद्राच्या प्रकाशित बाजूची कडा दिसायला हवी. परंतु ती दिसत नाही याचे कारण सूर्याचे लखलखीत तेज नवचंद्राच्या चंदेरी धाग्याचा सौम्य प्रकाश साफ झाकून टाकते. साधारणपणे चंद्र दोन तिथीनंतरच आपल्याला दिसतो कारण तेव्हा तो सूर्यापासून पुरेसा दूर सरकलेला असतो. क्वचित, विशेषत: वसंत ऋतूत तो प्रतिपदेसच दृष्टीस पडतो. पण चंद्रावरून नवपृथ्वी पाहताना हा प्रकार घडायचा नाही. तेथे वातावरपण नसल्यामुळे सूर्यकिरणांचे विकरण होत नाही आणि सूर्याभोवती खळेही तयार होत नाही. तेथे ग्रहतारे सूर्यकिरणांत लुप्त होत नाहीत. आकाशात सूर्याच्या जवळच ते स्पष्ट उठून दिसतात. म्हणून जर पृथ्वी सरळ सूर्याच्या पुढे नसेल (म्हणजे ग्रहण-स्थितीत नसेल, किंचित वर-खाली असेल) तर चंद्रावरच्या काळ्या तारांकित आकाशात तिची अरुंद कोर नेहमी दिसेल आणि तिची शृंगे सूर्याच्या उलट बाजूस असतील. पृथ्वी जशी सूर्यापासून डावीकडे जात राहील त्याप्रमाणे कोरही बदलत जाईल.

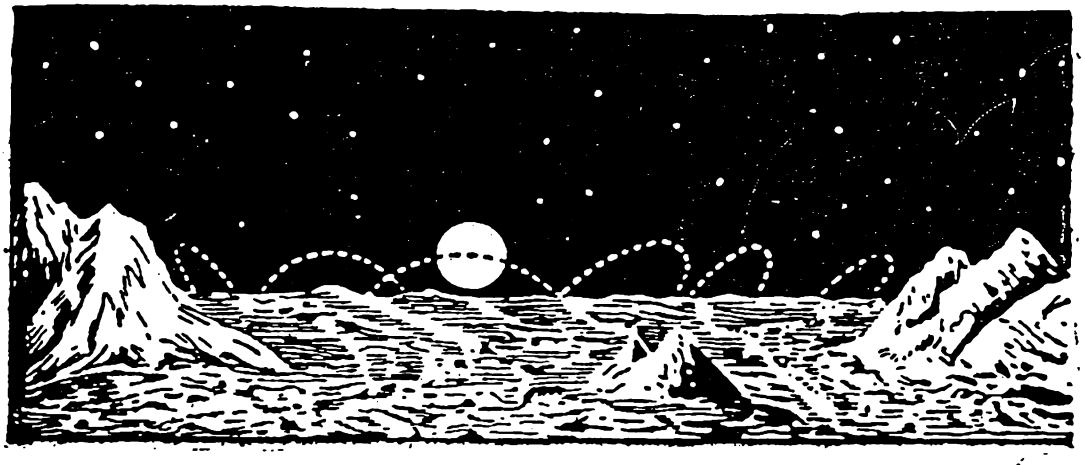


आकृती ४९ : चांद्र आकाशात नवपृथ्वीचे दर्शन. खालचा पांढरा गोळा सूर्याचा आहे.

छोट्या दुर्बिणीतून चंद्राचे निरीक्षण केल्यास असाच चमत्कार दृष्टोपत्तीस पडेल. पौर्णिमेच्या रात्री आपणाला रजनीकांताचे संपूर्ण बिंब दिसत नाही; चंद्र

आणि सूर्य दोहोंचे मध्यबिंदू निरीक्षकाच्या डोळ्यांच्या रेषेत नसल्यास चंद्रबिंबात बारीकशी किनार काळीच राहते आणि चंद्र जसा उजवीकडे सरकतो तशी ती चंद्रबिंबाच्या कडेने डावीकडेच सरकत जाते. परंतु पृथ्वी आणि चंद्र दोहोंच्या कला परस्परविरुद्ध असतात, म्हणून याच क्षणाला चंद्रस्थ निरीक्षकाला नव्या पृथ्वीची बारीक कोर दिसत असेल.

जाता जाता वर आपण नमूद केले आहे की चंद्राच्या आंदोलनाच्या परिणामी पृथ्वी चांद्र आकाशात पूर्णतया स्थिर असत नाही. मध्यम स्थानापासून उत्तर-दक्षिण दिशेने १४° आणि पश्चिम-पूर्व दिशेने १६° असे हेलकावे ती घेते. चंद्रावर ज्या ठिकाणी पृथ्वी क्षितिजावर दिसत असेल तेथे ह्या हेलकाव्यांमुळे ती कधी अस्त पावताना, कधी उदय पावताना आणि एकंदरीत विचित्र अशा वक्र रेषांतून फिरताना दिसेल. आकाशात मार्गक्रमण न करता क्षितिजावर एकाच ठरावीक ठिकाणी उदयास्त पावण्याची पृथ्वीची ही विलक्षण क्रिया कित्येक पार्थिव दिवस चालू राहू शकेल.

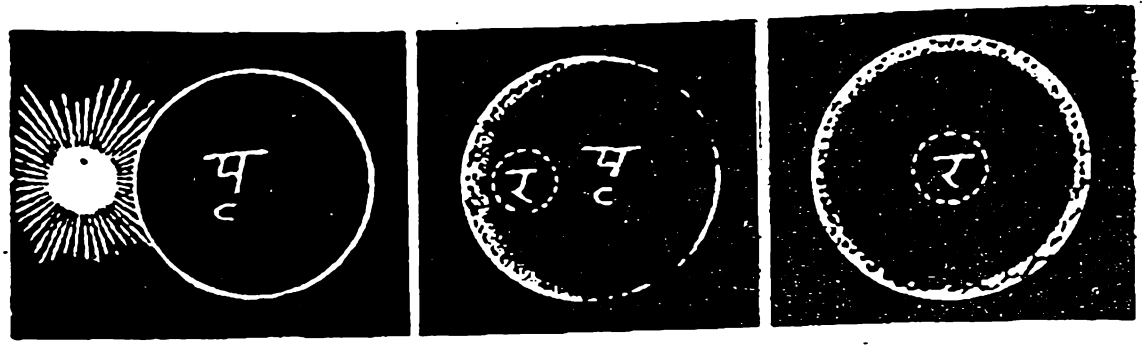


आकृती ५० : चांद्र क्षितिजाजवळ पृथ्वीच्या मंद हालचाली. तुटक रेषा पृथ्वीबिंबाच्या मध्याचा मार्ग दाखविते.

चंद्रावरची ग्रहणे

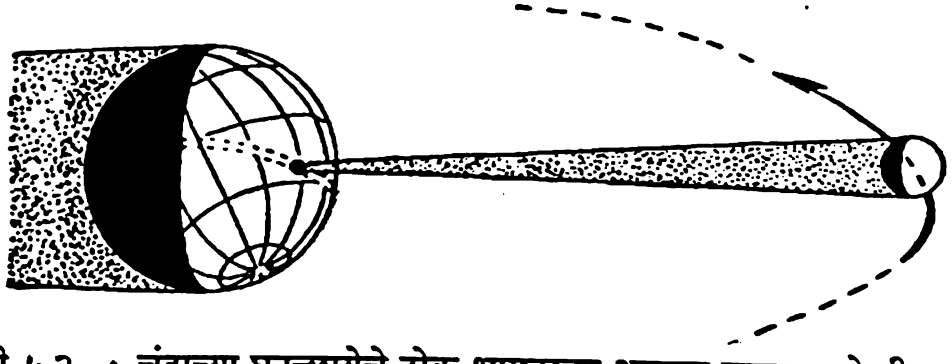
चंद्रावरील अंतरिक्षाच्या ह्या ज्ञानात आता 'ग्रहण' ह्या खगोलीय चमत्काराची मी भर टाकतो. चंद्रावर दोन प्रकारची ग्रहणे होतात. एक सूर्यग्रहण आणि दुसरे पृथ्वीग्रहण. **चंद्रावचे सूर्यग्रहण** आपल्यासारखे नसले तरी त्याची स्वत:ची काही वैशिष्ट्ये आहेत. आपण पृथ्वीवरून चंद्रग्रहण पाहत असतो तेव्हा चंद्रावर सूर्यग्रहण होत असते; त्या वेळी पृथ्वी सूर्य आणि चंद्र यांच्या मध्यबिंदूंना जोडणाऱ्या रेषेवर असते. अशा वेळी आपला उपग्रह पृथ्वीच्या छायेत लुप्त

होतो. ग्रहणाच्या वेळी ज्याने चंद्र न्याहाळून पाहिला असेल त्याच्या लक्षात असेल की तो त्या वेळी पूर्णतया प्रकाशित नसतो आणि तो अदृश्यही होत नाही; पृथ्वीच्या छायेच्या शंकूत शिरकाव करणाऱ्या लालसर किरणात त्याचे दर्शन घडते. जर त्या क्षणी आपण चंद्रावर गेलो आणि तेथून पृथ्वीकडे पाहिले तर ह्या लालसर प्रकाशाचे कारण सहज कळेल. तेज:पुंज परंतु आकाराने पुष्कळ लहान अशा सूर्यापुढे असणारी पृथ्वी चंद्राच्या आकाशात त्या क्षणी दिसेल ती लाल वातावरणाने वेढलेल्या काळ्या चकतीसारखी. छायेने काळवंडलेल्या चंद्रावर लालसर प्रकाश पडतो तो ह्या किनारीचाच!



आकृती ५१ : चंद्रावरून दिसणारे सूर्यग्रहण. चांद्र नभात एकाच जागी लटकणाऱ्या पृथ्वीबिंबावर सूर्य (२) हळूहळू सरकत जातो.

पृथ्वीवर सूर्यग्रहणे काही मिनिटांपुरतीच दिसतात; पण चंद्रावरची सूर्यग्रहणे आपल्याकडच्या चंद्रग्रहणाप्रमाणे **चार तास किंवा अधिकही टिकतात.** कारण वस्तुत: ती चंद्रग्रहणेच असतात. पृथ्वीवरून दिसण्याऐवजी ती चंद्रावरून निरीक्षिली जातात एवढेच. चंद्रावरची **पृथ्वीग्रहणे मात्र** एवढी **क्षुल्लक** आहेत की त्यांना ग्रहण हे नावदेखील शोभत नाही. आपल्याकडे सूर्यग्रहण दिसते तेव्हा चंद्रावरून पृथ्वीग्रहण दिसत असते. त्या वेळी चंद्रस्थ माणसाला पृथ्वीच्या प्रचंड बिंबावरून एक लहानसा काळा ठिपका जाताना दिसेल. अर्थात पृथ्वीवरील ज्या भाग्यवान ठिकाणी सूर्यग्रहण दिसते त्यावरूनच हा ठिपका जातो.



आकृती ५२ : चंद्राच्या घनच्छायेचे टोक भूपृष्ठावर आपला छायापथ रेखीत जाते. या पायावरच सूर्यग्रहण दिसतात.

सहज नमूद करण्यासारखी गोष्ट म्हणजे आपल्या **पृथ्वीवरून जी सूर्यग्रहणे दिसतात तशी ग्रहमालेत इतरत्र कुठेही दिसणे शक्य नाही.** ह्या खास दृश्यासाठी एका योगायोगाचे आभार मानले पाहिजेत. ह्या ग्रहणाच्या वेळी सूर्य आणि आपण यामध्ये चंद्र येतो आणि चंद्राचा व्यास सूर्याच्या व्यासाहून जितक्या पटीने लहान आहे, नेमक्या तेवढ्याच पटीने चंद्र सूर्याहून आपल्या जवळ आहे! असा योगायोग इतर कोणत्याही ग्रहाच्या बाबतीत नाही.

ज्योतिःशास्त्रज्ञ ग्रहणांचे वेध कां घेतात?

ह्या योगायोगामुळे आपल्या उपग्रहासमवतेत सतत फिरणारी त्याची शंक्वाकार छाया पृथ्वीच्या पृष्ठभागास बरोबर चाटून जाते. (आकृती ५२). प्रत्यक्षात चांद्र छायेच्या शंकूची **सरासरी** लांबी पृथ्वी ते चंद्र यांच्या सरासरी अंतराहून थोडी कमीच भरते आणि केवळ ह्या सरासरी प्रमाणांचाच संबंध आला असता तर खग्रास सूर्यग्रहण आपल्याला कधीच दिसले नसते. पण तसे ग्रहण लागते याचे एकमेव कारण हे की चंद्र पृथ्वीभोवती फिरतो तो विवृत्ताकार मार्गाने; ह्या मार्गाने जाताना त्याचे पृथ्वीपासूनचे अंतर कमी होते. काही ठिकाणी तो इतर ठिकाणांपेक्षा ४२,२०० किलोमीटर एवढा पृथ्वीच्या जास्त जवळ येतो. चंद्र ते पृथ्वी हे अंतर ३,५६,९०० पासून ३,९९,१००० किलोमीटर दरम्यान बदलत जाते.

चंद्राच्या छायेचे शेपूट पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर फिरत जाते आणि अशा तऱ्हेने 'दृश्य सूर्यग्रहणाची पट्टी' रेखाटते. ही पट्टी ३०० किलोमीटरहून अधिक रुंद कुठेच असू शकत नाही. यामुळे **सूर्यग्रहण पाहण्याचा योग येणारी ठिकाणे मर्यादितच असतात.** याच्या जोडीला खग्रास सूर्यग्रहणाचा अवधी लक्षात घ्या. (तो काही मिनिटेच असतो, आठ मिनिटांहून जास्त कधीच नसतो.) म्हणजे तुमच्या लक्षात येईल की **खग्रास सूर्यग्रहणाचा योग फारच दुर्लभ** आहे आणि कोणत्याही एका स्थळी तो योग २००-३०० वर्षांत एखाद्याच वेळी येतो.

यामुळे ज्योतिःशास्त्रज्ञ अक्षरशः सूर्यग्रहणाच्या पाळतीवर असतात आणि जेथे कुठे त्याचे वेध घेता येतील, मग ते ठिकाण कितीही दूर असो, तेथे आपली खास पथके पाठवतात. १९३६ चे सूर्यग्रहण (जून १९चे) फक्त सोविएत युनियनच्या हद्दीतच खग्रास दिसू शकले. पण तेवढ्या त्या दोन मिनिटांच्या निरीक्षणासाठी १० देशांतल्या ७० शास्त्रज्ञांना आमच्या देशास भेट देणे उपयुक्त वाटले. त्यांपैकी ४ पथकांचे परिश्रम ढगाळलेल्या हवेमुळे वाया

गेले. सोविएत ज्योतिःशास्त्रज्ञांनीदेखील त्या प्रसंगी फार मोठ्या प्रमाणावर वेध घेतले – खग्रास ग्रहणाच्या भागात एकूण ३० संशोधक-पथके गेली होती.

१९४१ साली युद्ध चालू असूनसुद्धा सोविएत सरकारने खग्रास सूर्यग्रहणाचे वेध घेण्यासाठी कित्येक पथके नियुक्त केली होती; लाडोगा सरोवरापासून आल्माआटा शहरापर्यंतच्या ज्या पट्ट्यात खग्रास ग्रहण दिसण्याची शक्यता होती त्यांत ही पथके जागा धरून होती. १९४७ साली एक सोविएत पथक २० मेच्या खग्रास ग्रहणाचे वेध घेण्यासाठी ब्राझिलला गेले होते. २५ फेब्रुवारी १९५२ आणि ३० जून १९५४ या दिवशी खग्रास सूर्यग्रहणांचा योग आला होता; तेव्हादेखील त्यांचे वेध घेण्याचे कार्य सोविएत युनियनमध्ये विशेष मोठ्या प्रमाणावर झाले.

वस्तुतः दर दोन चंद्रग्रहणांमागे तीन सूर्यग्रहणे होत असतात, पण चंद्रग्रहणे दिसण्यात पुष्कळ जास्त येतात. वरकरणी विसंगत वाटणाऱ्या ह्या ज्योतिःशास्त्रीय चमत्काराचे कारण साधे आहे.

जेथे चंद्र सूर्याला झाकतो अशा मर्यादित भागातच सूर्यग्रहण दिसू शकते; ह्या अरुंद पट्ट्यातही काही ठिकाणीच खग्रास ग्रहण दिसते, इतर ठिकाणी ते खंडग्रासच दिसते. सूर्यग्रहणाची वेळ छायामार्गावरील सर्व ठिकाणी एकच नसते; कालमापनात फरक असल्यामुळे हा फरक पडतो असे नव्हे तर चंद्राची घनछाया निरनिराळ्या स्थळांवरून निरनिराळ्या वेळी जाते हे त्याचे कारण आहे.

चंद्रग्रहणाची गोष्ट अगदीच वेगळी आहे. ग्रहणाच्या वेळी चंद्र ज्या गोलार्धात दृश्यमान असतो म्हणजे क्षितिजाच्यावर असतो त्या समग्र गोलार्धात त्याचे ग्रहण एकाच वेळी दिसू शकते. चंद्रग्रहणाच्या कला सर्व पृथ्वीवर एकसमयावच्छेदेकरून दिसत असतात, कालमापनात जो स्थलपरत्वे फरक असतो तेवढाच.

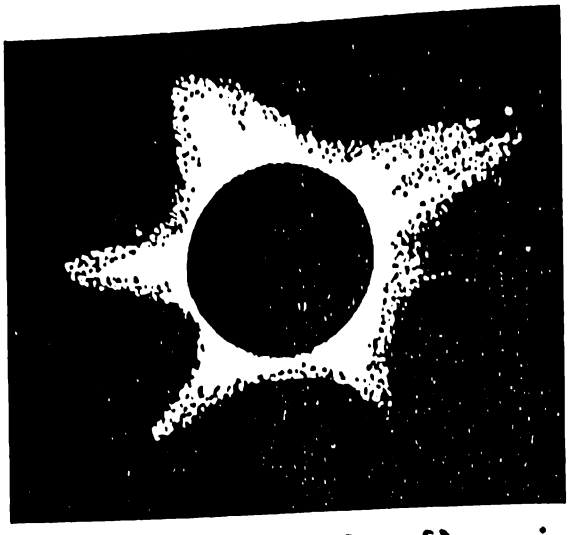
म्हणून चंद्रग्रहणासाठी खास पाळत ठेवण्याची ज्योतिःशास्त्रज्ञांना गरज नाही, ती स्वतःच सामोरी येत असतात. सूर्यग्रहण पदरात पाडून घेण्यासाठी मात्र दूरवर प्रवास करण्यात येतो. एवढ्या क्षणिक निरीक्षणासाठी एवढा अफाट खर्च करण्याची खरोखर गरज असते का? चंद्राने सूर्याचा ग्रास करण्याच्या योगायोगाची वाट न पाहता हेच वेध घेता येणार नाहीत का? **सूर्य आणि दुर्बीण यांच्या मधे अपारदर्शक चकती ठेवून कृत्रिम सूर्यग्रहण घडवून**

आणणे ज्योतिःशास्त्रज्ञांना का शक्य होऊ नये? तसे शक्य झाले तर, ग्रहणाच्या वेळी सूर्याच्या ज्या बाह्य भागाचे वेध घेण्यासाठी ज्योतिःशास्त्रज्ञ एवढे धडपडत असतात त्या भागाचे वेध फारसा त्रास न घेता सहज घेता येतील.

परंतु **चंद्र सूर्यग्रहण घडवून आणतो तेव्हा जे परिणाम दिसतात ते आपल्या मानवनिर्मित ग्रहणात दिसणार नाहीत.** मुद्दा हा की दृष्टीच्या टप्प्यात येण्यापूर्वी सूर्याचे किरण पृथ्वीच्या वातावरणातून पसार होतात; तेथे हवेच्या किरणांनी त्यांचे विकरण होते. यामुळेच दिवसा आकाश निळसर घुमटासारखे दिसते, वातावरण नसते तर तेच आकाश काळ्या नक्षत्रांकित छतासारखे दिसले असते. सूर्य झाकला तरी आपण हवेच्या सागराच्या तळाशीच असतो. जरी कृत्रिम रीतीने सरळ किरण डोळ्यांवर पडण्यापासून आपण अडवले तरी वरचे वातावरण सूर्यप्रकाशाने भरलेले असते, त्यातले किरण ते विखुरत असते आणि त्यामुळे तारे झाकले जातात. जर मधे टाकायचा पडदा वातावरणाच्या बाहेर असेल तर असे घडणार नाही. एक प्रकारे चंद्र हा अशा प्रकारचा पडदा आहे आणि तोही वातावरणाच्या वरच्या सीमेपेक्षा सहस्रपट दूर आहे. सूर्याचे किरण वातावरणात उतरण्यापूर्वीच तो त्यांना अडवतो. यामुळे चंद्राच्या घनच्छायेच्या मार्गात किरण विखुरले जात नाहीत. अर्थात हा प्रतिबंध संपूर्ण असत नाही. कारण सभोवतालच्या प्रकाशित भागातून विखुरलेले काही किरण ह्या छाया-भागांत प्रवेश करतात व यामुळे खग्रास सूर्यग्रहणाच्या वेळीसुद्धा आकाश मध्यरात्रीएवढे काळे कधीच असत नाही. सर्वात तेजस्वी तारे तेवढेच या ग्रहणवेळी दिसतात.

खग्रास ग्रहणाचे वेध घेण्यामागे ज्योतिःशास्त्रज्ञांचे हेतू कोणते असतात?

एकतर सूर्याच्या बाह्य थराच्या वर्णलेखांतील रेषांचा तथाकथित 'स्थानबदल' ते पकडू पाहतात. सौर वर्णलेखाच्या तेजस्वी पट्टीत ह्या रेषा सामान्यतः काळ्या दिसतात, पण चंद्रबिंबाने सूर्य पूर्णपणे झाकून टाकला म्हणजे ग्रहणसमयीच्या काळवंडलेल्या पार्श्वभूमीत त्याच रेषा काही सेकंद चकाकताना दिसतात; शोषणाच्या वर्णलेखाऐवजी उत्सर्जनाचा वर्णलेख मिळतो. **सूर्याच्या बाह्य थरासंबंधी** पुष्कळ **मौल्यवान माहिती** या चमत्कारांतून मिळते. ग्रहण नसतानादेखील काही विशिष्ट परिस्थितीत हा चमत्कार पाहता येतो हे खरे असले तरी ग्रहणाच्या वेळी तो एवढा स्पष्ट असतो की तशी बहुमोल संधी हातची जाऊ नये, याबद्दल ज्योतिःशास्त्रज्ञ फार उत्सुक असतात.



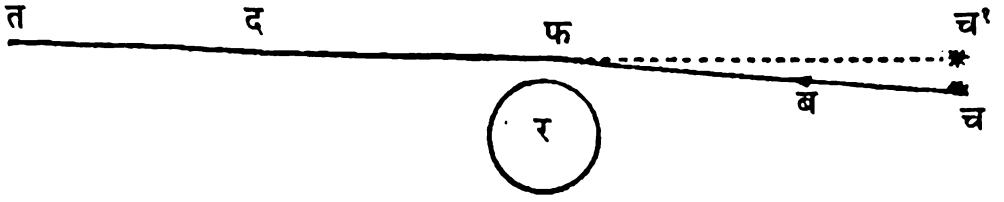
आकृती ५३ : ग्रहण खग्रास होते त्या क्षणी सूर्याचे प्रभामंडळ काळ्या चंद्रबिंबामागे उजळून उठते.

सौर मुकुटाचा किंवा **प्रभामंडळाचा अभ्यास** हे दुसरे उद्दिष्ट होय. ह्या प्रभामंडळाचे दर्शन हा खग्रास सूर्यग्रहणावेळचा सर्वात चित्तवेधक चमत्कार होय. ग्रहणाच्या वेळी विविध आकार आणि विस्तार धारण करणाऱ्या ह्या प्रभामंडळामुळे काळ्याभोर चंद्रबिंबाभोवती ज्वालांचे लोट किंवा तेज:शृंगे दिसू लागतात. हे लोट कित्येकदा सूर्याच्या व्यासाहून अनेकपट लांब असतात आणि त्यांचे तेज साधारणपणे पौर्णिमेच्या चांदण्यांच्या निम्मे असते.

१९३६ सालच्या ग्रहणात दिसलेले प्रभामंडळ अतिशयच तेजस्वी होते. त्याचा प्रकाश पौर्णिमेच्या चांदण्याएवढा होता. हा प्रकार अर्थात विरळा होता. त्याचे लोट किंचित अंधुक होते पण लांबीने सूर्यव्यासाच्या तीनपट आणि त्याहूनही लांब होते; एकंदर प्रभामंडळाचा देखावा, मध्यभागी काळे चंद्रबिंब असलेल्या पंचकोनी ताऱ्यासारखा होता. (आकृती ५३).

सौर प्रभामंडळाचे स्वरूप अद्याप पूर्णपणे समजलेले नाही. ग्रहणसमयी ज्योति:शास्त्रज्ञ प्रभामंडळाची छायाचित्रे घेतात, त्याचे तेज मापतात आणि त्याच्या वर्णलेखाचे संशोधन करतात. यामुळे त्याचे प्रकृती-स्वरूप अभ्यासण्यास मदत होते.

अलीकडील काही दशकांतच पुढे आलेला **तिसरा हेतू म्हणजे सापेक्षतेच्या सामान्य सिद्धान्ताचे सत्य तपासून पाहणे.** ह्या सिद्धान्तानुसार सूर्याजवळून येणारे ताऱ्यांचे किरण सूर्याच्या प्रचंड गुरुत्वाकर्षणाने वाकायला हवेत. हे सत्य असल्यास सूर्यबिंबाजवळचे तारे किंचित सरकल्यासारखे दिसायला हवेत. (आकृती ५४). खग्रास सूर्यग्रहणाच्या वेळी ह्यांचे प्रत्यंतर घेणे शक्य आहे.



आकृती ५४ : सापेक्षतेच्या सिद्धान्ताचा एक परिणाम – सूर्याच्या गुरुत्वाकर्षणशक्तीमुळे प्रकाशकिरणांचे मार्गस्खलन. सापेक्षता सिद्धान्तानुसार, तारा खरोखरीच या बिंदूवर असतो व त्याचे किरण च ब फ द त या वक्र रेषेत येत असतात, पण त या बिंदूवरील पृथ्वीस्थित निरीक्षकाला तो तारा त द फ च$_1$ या सरळ रेषेच्या दिशेत च$_1$ येथे दिसतो. सूर्य मधे नसता तर च ताऱ्याकडून येणारा किरण च त या सरळ रेषेत आला असता.

१९१९, १९२२, १९२६ आणि १९४६ या वर्षींच्या ग्रहणात जी मोजमापे घेण्यात आली त्यावरून, अगदी अचूक बोलावयाचे झाल्यास, वरील गोष्टींचा स्पष्ट निकाल लागला नाही. सापेक्षता सिद्धान्ताच्या उपरोल्लिखित परिणामाचे सत्य प्रायोगिकरीत्या अद्याप ठरावयाचे आहे.

ज्योति:शास्त्रज्ञ आपल्या वेधशाळा सोडून दूरदूरच्या आणि कधी कधी अत्यंत क्लेशदायक हवामानाच्या ठिकाणी जाऊन सूर्यग्रहणाचे वेध घेण्याचा जो खटाटोप करतात, त्याची मुख्य कारणे ही होत.*

आता खग्रास सूर्यग्रहणाचे प्रत्यक्ष दृश्य म्हणाल तर कोरोलेकोच्या 'ग्रहण' ह्या पुस्तकात त्याचे एक उत्कृष्ट वर्णन आहे. १८ ऑगस्ट १८९९ रोजी घडलेल्या ग्रहणाचे ते वर्णन आहे. लेखकाने ते वोल्गाकाठच्या युऱ्येवेत्स शहरांतून पाहिले होते. कोरोलेकोच्या कहाणीतले काही उतारे खालीलप्रमाणे आहेत :

"विरल धुक्याच्या वाहत्या पडद्यामागे क्षणभर सूर्य नाहीसा होतो आणि मेघांतून पुन्हा बाहेर येतो तेव्हा ग्रहण सुरू झाल्याचे लक्षात येते.

"आतातर तो उघड्या डोळ्यांनी पाहता येतो; वातावरणातील अल्पसे धुके अजून हवेत खळखळ निर्माण करीत आहे आणि डोळे दिपवणाऱ्या प्रकाशास सौम्य बनवीत आहे, त्याचाच तो प्रताप.

---

* किरण वाकतात ही गोष्ट सिद्ध झाली आहे, परंतु वाकण्याचे प्रमाण सिद्धान्ताबरहुकूम असावे तेवढेच आहे हे सिद्ध झालेले नाही. प्रो. ए. ए. मिखाइलोव यांनी घेतलेल्या वेधांच्या परिणामी ह्या सिद्धान्ताच्या काही अंगांची फेरतपासणी करणे आवश्यक झाले आहे.

"वातावरण नि:शब्द झाले आहे. मधून मधून कोणाचा तरी जड नि जलद श्वासोच्छ्वास ऐकू येतो तेवढाच.

"अर्धा तास गेला. दिवस तर जगळ जगळ नेहमीइतकाच उजळ वाटतो; ढग मधून मधून सूर्याला झाकतात, मधून मधून त्यांचे दर्शन घेऊ देतात, तो आता चंद्रकोरीसारखा अंतरिक्षात पोहत चालला आहे.

"सर्वात उत्तेजित आणि जिज्ञासू वाटतात मुले!

"केस पिकलेले म्हातारे नि:श्वास टाकतात, म्हाताऱ्या बाया अंगात आल्यासारख्या रडताहेत; त्यातल्या काही तर दाढ दुखत असावी अशा किंकाळ्या फोडून हुंदके देत आहेत.

"आता मात्र उजेड बराच कमी झाला. चेहरे भीतिग्रस्त दिसू लागले आहेत. जमिनीवरच्या माणसांच्या सावल्यादेखील पुसट झाल्या आहेत. नदीच्या प्रवाहांतून एक बोट भुतासारखी जाताना दिसते. का कुणास ठाऊक, ती हलकी झालेली वाटते, तिच्यावरचे रंग पुसट वाटतात. उजेड कमी होत चालला आहे, पण संध्याकाळच्या लांब सावल्या पडलेल्या नाहीत आणि वातावरणाच्या खालच्या थरांवर परावर्तित प्रकाशाचे नृत्यही होत नाही, त्यामुळे हा संधिप्रकाश विचित्र आणि भीतिदायक वाटतो. भोवतालचा प्रदेश कशाततरी लुप्त झाल्यासारखा वाटतो, गवताचा हिरवेपणा लोपला आहे आणि डोंगराची जड घनताही नाहीशी झाल्यासारखी वाटते.

"परंतु सूर्याच्या कडेची बारीक कोर शिल्लक असेपर्यंत दिवस अतिशय ढगाळलेला असावा असेच वाटत राहते आणि ग्रहणाच्या वेळच्या अंधारासंबंधी ऐकलेल्या गोष्टी अतिरंजित असाव्या असे मला वाटते. मनात मी म्हटले, 'नजरचुकीने राहिलेल्या एखाद्या शेवटच्या मेणबत्तीप्रमाणे ह्या अफाट विश्वात जळत असलेला सूर्याचा हा शेवटचा इवलासा स्फुल्लिंग! त्याचा एवढा प्रभाव असू शकेल का?... तो लोपताच एकाएकी रात्र अवतरणे शक्य आहे का?' पण आता हा अखेरचा स्फुल्लिंगही नाहीसा झाला. स्फोट व्हावा त्याप्रमाणे एकाएकी त्याचा भडका उडाला आणि सुवर्णकणांचा पाऊस पाडून क्षणार्धात तो नाहीसादेखील झाला! पृथ्वीवर अंधार पसरला. संधिप्रकाश आणि झपाट्याने पसरणारा अंधार यांतला तो क्षण मला जेमतेम जाणवला. अंधार दक्षिणेतून धावत आला, एखाद्या राक्षसी कफनाप्रमाणे त्याने सर्व डोंगर, नदी नि शेते झाकून टाकावी; आकाशाचा विशाल पसारा व्यापून त्याने आम्हाला गुरफटून

टाकले आणि डोळ्याचे पाते लवते न लवते तोच तो उत्तरेशी एकरूप झालादेखील. मी सखल नदीकाठावर उभा होतो, तेथून मी लोकांकडे नजर टाकली. स्मशानशांततेचे राज्य पसरले होते... मानवी आकृत्या एकमेकांत मिसळून एकच काळा आकार दिसत होता.

"पण ही नेहमीची रात्र नव्हती. अद्याप प्रकाश एवढा होता की सामान्य रात्रीचा निळा अंधार भेदणारे रुपेरी चांदणे डोळे आपोआप शोधू लागले. परंतु डोळ्यांना ते चांदणे वा तो निळा अंधार काहीच दिसेना. जणू अत्यंत सूक्ष्म अगोचर रक्षाकणांचा पृथ्वीवर वर्षाव व्हावा, किंवा असंख्य रेषांचे अतिशय तलम जाळे हवेत अधांतरी पसरलेले असावे, असाच भास होत होता. दूर बाजूला मात्र वरच्या थरांतली हवा तेज:पुंज असावीशी वाटत होती, तिचे प्रवाह आमच्या भोवतालच्या अभेद्य तिमिरात वाहत येऊन सावल्यांची सरमिसळ करीत होते आणि अंधारापासून त्याचा आकार नि घनता दोन्ही हिरावून घेत होते आणि वर, निसर्गातील ह्या सर्व गोंधळाच्या पलीकडे, पळणारे मेघ एक विस्मयकारक दृश्य उभे करीत होते आणि त्यांच्या मध्यभागी चाललेले द्वंद्वयुद्ध मनाला भुरळ पाडीत होते... कोणा वैऱ्याच्या गोल काळ्या देहाने तेजोनिधी सूर्यामध्ये कोळ्याप्रमाणे आपले पंजे खुपसले होते आणि दोघांनी पार ढगांच्या पलीकडे उड्डाण केले होते. तेवढ्यात प्रकाशाची एक शलाका त्या काळ्या ढालीमागून सळाळत बाहेर पडली. तिने त्या देखाव्यात चैतन्य आणि गती ओतली. अविश्रांत आणि नि:शब्दपणे पळत असलेल्या मेघांनी मनावरची ही छाप अधिकच दृढ केली."

आधुनिक ज्योति:शास्त्रज्ञांना सूर्यग्रहणांबद्दल जशी अतीव उत्सुकता वाटते तशी चंद्रग्रहणाबद्दल वाटत नाही. मात्र **आपल्या पूर्वजांना पृथ्वीच्या गोल आकाराचा सोयिस्कर पुरावा चंद्रग्रहणात सापडला होता.** मॅगेलानच्या पृथ्वीभोवतीच्या सफरीत ह्या कल्पनेचा कसा उपयोग झाला हे नमूद करण्यासारखे आहे. प्रशांत महासागराच्या अफाट विस्तारात अनेक दिवस प्रवास करून थकलेले त्याचे खलाशी आता आपल्याला जमीन दिसणार नाही, ह्या समजुतीने निराश झाले होते, पण एकट्या मॅगेलानचा धीर सुटला नव्हता. त्या सुप्रसिद्ध नाविकाच्या मित्राने लिहिले आहे, "पृथ्वी म्हणजे पाण्याने वेढलेले अतिविशाल मैदान होय, असे बायबलच्या आधारे जरी चर्च नेहमीच सांगत आले असले, तरी मॅगेलान असा विचार करीत होता की चंद्रग्रहणाच्या वेळी पृथ्वीची छाया नेहमीच गोल असते आणि छाया जर नेहमी गोल असेल तर ज्या वस्तूची ती

छाया ती वस्तूदेखील गोलच असली पाहिजे.'' चंद्रावरची छाया पृथ्वीच्या आकारावर कशी अवलंबून असते हे दाखविणाऱ्या आकृत्यादेखील ज्योतिःशास्त्रावरच्या जुन्या ग्रंथांत आढळतात.

आता अर्थात असा आधार देण्याची गरज नाही. उलटपक्षी चंद्राचे तेज आणि रंग यांवरून **पृथ्वीच्या वातावरणाच्या वरच्या थरांची रचना कशी असावी हे ठरविण्यास चंद्रग्रहणाची मदत होते.** तुम्हाला माहीत आहे की चंद्र पृथ्वीच्या छायेत सर्वस्वी लुप्त होत नाही. पृथ्वीच्या घनच्छायेत वक्राकार शिरणाऱ्या सूर्यकिरणात त्याचे दर्शन होऊ शकते. ह्या विशिष्ट क्षणी चंद्रप्रकाशाची प्रखरता आणि चंद्राच्या रंगाच्या छटा ह्या ज्योतिःशास्त्राच्या दृष्टीने फार महत्त्वाच्या गोष्टी होत. सूर्यावरील डागांच्या संख्येशी त्यांचा संबंध असल्याचे सिद्ध झाले आहे. शिवाय सूर्याची उष्णता मिळण्याचे थांबताच चंद्राचा पृष्ठभाग किती जलद थंड होत जातो हे मापण्यासाठीदेखील चंद्रग्रहणाचा उपयोग करण्यात आला आहे. (हा प्रश्न आपण पुढे घेणार आहोत.)

ग्रहणे दर १८ वर्षांनी कां येतात?

ख्रिस्तपूर्व काळात बाबिलोनच्या ज्योतिर्वेत्त्यांच्या लक्षात आले होते की सूर्याची व चंद्राची ग्रहणे दर १८ वर्षे १० दिवसांनी पुन्हा येत असतात. याला त्यांनी नाव ठेवले होते 'सारोसचे चक्र.' अशी नियमबद्धता कां असावी किंवा तिचे कालमानही एवढे विशिष्ट कां असावे याचे कारण मात्र त्यांना अवगत नव्हते. चंद्राच्या गतीचा सूक्ष्म अभ्यास झाल्यानंतर बऱ्याच काळानंतर हे कारण माहीत झाले.

चंद्राच्या पृथ्वीप्रदक्षिणेचा काळ केवढा? चंद्राची पृथ्वीप्रदक्षिणा केव्हा पूर्ण होते हे ठरविण्यावर या प्रश्नाचे उत्तर अवलंबून आहे. ज्योतिःशास्त्रज्ञ एकूण पाच प्रकारचे मास किंवा महिने धरतात. सध्या त्यापैकी दोहोंचाच आपणाला विचार करावयाचा आहे.

पहिला 'सांवासिक' मास. **सूर्यावरून चंद्राच्या गतीचे निरीक्षण केल्यास** चंद्राला एक प्रदक्षिणा पूर्ण करण्यास जो काळ लागतो त्याला (सूर्य आणि चंद्र हे दोघेही पृथ्वीच्या एकाच बाजूला आल्यापासून पुन्हा ते त्याच बाजूला येईपर्यंतचा जो अवधी त्याला) 'सांवासिक' मास म्हणतात. हा काळ म्हणजे दोन समान तिथीमधला, एका अमावास्येपासून दुसऱ्या अमावास्येपर्यंतचा काळ होय. तो २९.५३०६ दिवसांएवढा असतो.

दुसरा 'ग्राहणिक' मास. चंद्र आपल्या कक्षेत फिरताना एका पातबिंदूवरून निघाल्यापासून पुन्हा त्याच पातबिंदूवर परत येईपर्यंतचा जो काळ त्याला 'ग्राहणिक' मास म्हणतात. चंद्राची कक्षा पृथ्वीकक्षेच्या पातळीस छेदते त्या दोन बिंदूंना पातबिंदू ही संज्ञा आहे.* 'ग्राहणिक' मास २७.२१२२ दिवसांचा असतो.

पौर्णिमेला किंवा अमावास्येला चंद्र यापैकी एका पातबिंदूवर येतो तेव्हाच ग्रहण लागू शकते. ही गोष्ट सहज लक्षात येण्यासारखी आहे. त्या स्थितीत चंद्राचा मध्यबिंदू पृथ्वी आणि सूर्य यांच्या मध्यबिंदूंना जोडणाऱ्या रेषेवर येतो. समजा जर त्यापैकी एका स्थितीत आज ग्रहण लागले तर, सांवासिक आणि ग्राहणिक दोन्ही प्रकारच्या मासांची ज्यात पूर्ण संख्या होते अशा काळानंतर तशीच स्थिती परत उद्‌भवेल आणि पुन्हा तसेच ग्रहण लागेल.

हा कालखंड आपण कसा ठरवितो? त्यासाठी आपण २९.५३०६ **क्ष**=२७.२१२२ **य** हे समीकरण सोडविले पाहिजे. **क्ष** आणि **य** ह्या पूर्ण संख्या असल्या पाहिजेत. ह्या समीकरणावरून प्रमाण निघते ते $\frac{\text{क्ष}}{\text{य}} = \frac{२७२१२२}{२९५३०६}$. याचे अगदी अचूक किमान उत्तर म्हणजे **क्ष**=२७२१२२ आणि **य**=२९५३०६. या पद्धतीने जो कालखंड येतो तो दशसहस्रावधींनी मोजावा लागतो आणि म्हणून व्यावहारिकदृष्ट्या तो निरुपयोगी आहे. प्राचीन ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी अधिक स्थूल उत्तरावर समाधान मानले. असे स्थूल किंवा निकट उत्तर काढण्याची सर्वात सोयिस्कर पद्धती म्हणजे अखंड अपूर्णांक पद्धती होय. ह्या अपूर्णांकास खालीलप्रमाणे अखंड अपूर्णांकाचे रूप द्या. पूर्णांक बाहेर घेता,

$$\frac{२९५३०६}{२७२१२२} = १\ \frac{२३१८४}{२७२१२२}$$

आता अपूर्णांकांतील अंश व छेद दोहोंना अंशसंख्येने भागा $\frac{२,९५,३०६}{२,७२,१२२}$

$$\frac{२९५३०६}{२७२१२२} = १ + \cfrac{१}{१\frac{१७०९८}{२३१८४}}$$

आता $\frac{१७०९८}{२३१८४}$ या अपूर्णांकातील अंश व छेद यांना पुन्हा अंशसंख्येने भागा आणि याच पद्धतीने पुढे करीत चला.

---

* ह्या बिंदूंनाच आपल्या ज्योतिःशास्त्रात राहू आणि केतू ही नावे दिलेली आहेत.

– **अनुवादक.**

अग्रेरचे उत्तर,

$$\frac{२९५३०६}{२७२१२२} = १+\cfrac{१}{११+\cfrac{१}{१+\cfrac{१}{२+\cfrac{१}{१+\cfrac{१}{४+\cfrac{१}{१७+\cfrac{१}{१+\cfrac{१}{७}}}}}}}}$$

या अपूर्णांकाचे क्रमशः पहिले भाग घेऊन, बाकीचे सोडल्यास खालील प्रमाणे अधिकाधिक निकट उत्तरे येतात.

$\frac{१२}{११}$, $\frac{१३}{१२}$, $\frac{३८}{३५}$, $\frac{५१}{४७}$, $\frac{२४२}{२२३}$, $\frac{१०१९}{९३९}$ इत्यादी.

या श्रेणीपैकी पाचवे उत्तर अचूक धरावयास हरकत नाही. तसे धरल्यास **क्ष** = २२३ आणि **य** = २४२ आणि एकच प्रकारच्या ग्रहणाच्या पुनरावर्तनाचा काल २२३ सांवासिक किंवा २४२ ग्राहणिक मासांएवढा ठरतो; हा काल ६५८५$\frac{१}{३}$ दिवसांचा म्हणजे १८ वर्षे ११.३ (किंवा १०.३) दिवस एवढा आहे.*

सारोसचक्राचे मूळ ह्यात आहे आणि हे मूळ कळल्यावर भावी ग्रहणे आपण आधीपासून किती अचूकपणे सांगू शकतो हे कळेल. सारोसचा काळ १८ वर्षे १० दिवस मोजताना वरचा ०.३ दिवस आपण सोडतो हे लक्षात असू द्या. हा भाग सोडण्याचा परिणाम, आगामी ग्रहणच मागच्या ग्रहणाहून **भिन्न घटकेस** लागण्यात व्यक्त होईल. (ते साधारण ८ तासांच्या नंतर लागेल. जर आवर्तनकाल तीनपट घेतला तर ग्रहण पूर्वीच्याच घटकेला लागेल.) शिवाय चंद्र आणि पृथ्वी, तसेच सूर्य आणि पृथ्वी यांमधील **अंतरे** बदलत असतात आणि ह्या बदलांचाही ठरावीक आवर्तनकाल असतो. सूर्यग्रहण खग्रास होईल की नाही हे या बदलांवरून ठरते. सारोसचक्र ह्या गोष्टीची दखल घेत नाही.

---

* या काळात वृद्धी वर्षे (लीप वर्षे) ४ आहेत की ५ आहेत यावर दिवसांचा नेमका आकडा अवलंबून राहील.

म्हणून अमुक एका दिवशी ग्रहण लागेल एवढेच सारोसचक्रावरून सांगता येते. हे ग्रहण खग्रास असेल, खंडग्रास असेल की कंकणाकृती असेल, अथवा ते पूर्वीच्याच जागी दिसेल किंवा नाही हे सारोसचक्रावरून निश्चित सांगता येणार नाही.

शेवटचा मुद्दा हा की कधी कधी असाही प्रकार घडतो की एखाद्या अगदीच क्षुल्लक खंडग्रास ग्रहणाची कला १८ वर्षांत आणखी घटून शून्यावर येते आणि मग ते दिसणे सर्वथाच अशक्य असते. याउलट कधी कधी एखादे अदृश्य खंडग्रास ग्रहण १८ वर्षांनंतर दृष्टीच्या आटोक्यात येते.

हल्ली ज्योतिःशास्त्रज्ञ सारोसचक्राचा उपयोग करीत नाहीत. चंद्राच्या चंचल गतीचा अभ्यास एवढ्या बारकाईने झालेला आहे की ग्रहणांचा काल अगदी सेकंदापर्यंत अचूक सांगता येतो. एखादे अपेक्षित ग्रहण घडलेच नाही तर आधुनिक विद्वान दुसरे कोणतेही कारण एक वेळ मान्य करतील पण आपल्या गणितात चूक झाली असे कधीही कबूल करणार नाहीत.

ह्या गोष्टींची जूल व्हर्नने आपल्या एका पुस्तकात मोठ्या मार्मिकपणे नोंद घेतली आहे. सूर्यग्रहणाचे निरीक्षण करण्यासाठी ध्रुव प्रदेशात गेलेल्या एका ज्योतिःशास्त्रज्ञाची त्यात गोष्ट आहे. अपेक्षेप्रमाणे हे ग्रहण घडलेच नाही. त्या ज्योतिःशास्त्रज्ञाने त्यावरून कोणता निष्कर्ष काढला? त्याने आपल्या सहकाऱ्यांना सांगितले की ज्या विशिष्ट हिमराशीवर वेध घेण्यासाठी त्यांनी तळ टाकला होता ती हिमराशी मुख्य भूमीचा भाग नव्हती, ती पाण्यावर तरंगणारी हिमराशी असावी आणि समुद्रातील प्रवाहामुळे ती ग्रहणाच्या छायापथाबाहेर वाहत गेली असावी. हे म्हणणे खरे असल्याचे लवकरच सिद्ध झाले. विज्ञानाच्या सामर्थ्यावरील श्रद्धेचे हे उत्कृष्ट उदाहरण आहे!

हे शक्य आहे का?

काही लोक **चंद्रग्रहणाच्या वेळी क्षितिजावर एका बाजूला सूर्यबिंब आणि दुसऱ्या बाजूला काळे पडलेले चंद्रबिंब एकाच वेळी** स्वतःच्या डोळ्यांनी पाहिल्याचे सांगतात.

४ जुलै १९३६ रोजी जे चंद्राचे खंडग्रहण झाले तेव्हाही ही गोष्ट दृष्टीस पडली होती. ह्या पुस्तकाच्या एका वाचकाने मला पत्रात लिहिले होते,

"४ जुलैला चंद्रोदय संध्याकाळी ८ वाजून ३१ मिनिटांनी झाला. चंद्रोदय

होत असतानाच ग्रहण लागले; वस्तुत: चंद्र आणि सूर्य दोघेही तेव्हा एकाच वेळी क्षितिजाच्या वर दिसत होते. प्रकाशकिरण सरळ रेषेत प्रवास करतात असे असल्यामुळे त्या गोष्टीचे मला फार आश्चर्य वाटले.''

हे एक कोडे आहे नक्कीच. 'सूर्य आणि चंद्र यांच्या मध्यबिंदूंना जोडणारी रेषा' काजळलेल्या काचेतून दिसत नसली तरी तशी रेषा पृथ्वीच्या बाजूने जात असल्याची कल्पना तुम्हाला करता येईल. सूर्यापासून चंद्राला पृथ्वीने झाकले नसतानाही ग्रहण लागू शकेल का? अशी गोष्ट डोळ्यांनी पाहिल्याचा दावा करणाऱ्यावर विश्वास टाकता येईल का?

खरे म्हणजे यात अविश्वसनीय असे काही नाही. पृथ्वीच्या वातावरणातून जाणाऱ्या प्रकाशाची दिशा बदलल्याने सूर्य आणि काळवंडलेला चंद्र दोन्ही एकाच वेळी आकाशात दिसणे शक्य आहे. ह्या विभ्रमणास 'वातावरणजन्य वक्रीभवन' म्हणतात व त्याच्या परिणामी प्रत्येक खस्थ ज्योती तिच्या खऱ्या स्थानापेक्षा **वर** दिसते. (आकृती १३ पहा.). सूर्य वा चंद्र आपल्याला जेव्हा किंचित क्षितिजावर दिसतात तेव्हा भूमितीदृष्ट्या ते खरोखर क्षितिजाच्या खाली असतात. तेव्हा सूर्य आणि काळवंडलेला चंद्र दोघेही एकाच वेळी क्षितिजाच्या वर दिसले तर त्यात अविश्वसनीय काही नाही.

यासंबंधाने फ्लामारियन म्हणतो,

''१६६६, १६६८ आणि १७५० या वर्षांतील ग्रहणात हे वैशिष्ट्य फारच ठळकपणे नजरेस पडले होते आणि लोक साधारणपणे त्या आठवणी सांगतात. परंतु तेवढे मागे जाण्याची गरज नाही. १५ फेब्रुवारी १८७७ रोजी चंद्रोदय ५.२९ला झाला आणि सूर्यास्त ५.३९ला. सांगायची गोष्ट म्हणजे तोपर्यंत खग्रास ग्रहण सुरूदेखील झाले होते. ४ डिसेंबर १८८०चे पॅरिसमध्ये दिसलेले चंद्रग्रहण घ्या. त्या दिवशी चंद्रोदय झाला ४.०० वाजता आणि सूर्यास्त ४ वाजता. ग्रहण अर्धे लागले असताना सूर्यास्त झाला. ग्रहणाचा काळ ३.०३ पासून ४.३३ पर्यंत होता. ही गोष्ट वारंवार न दिसण्याचे कारण एवढेच की ती फार थोड्या लोकांच्या लक्षात येते. सूर्यास्तापूर्वी किंवा सूर्योदयानंतर चंद्राचे खग्रास ग्रहण पहावयाचे झाल्यास आपण पृथ्वावरची अशी जागा शोधली पाहिजे की जेथे ग्रहणाच्या मध्यावर चंद्र क्षितिजावर असेल.''

आकृती ५५ : खंडग्रास ग्रहणाच्या वेळी वृक्षपर्णाच्या छायेतील प्रकाशाच्या कवडशांचा आकार चंद्रकोरीसारखा आहे.

ग्रहणासंबंधी अपरिचित गोष्टी

प्रश्न

१. सूर्यग्रहण आणि चंद्रग्रहण यांचा अवधी किती असू शकतो?

२. एका वर्षात किती ग्रहणे होऊ शकतात?

३. ज्यात सूर्यग्रहण होतच नाही अशी वर्षे असू शकतात का? तोच प्रश्न चंद्रग्रहणाविषयी.

४. ग्रहणसमयी चंद्राचे काळे बिंब सूर्यावरून जाते ते उजवीकडून की डावीकडून?

५. चंद्रग्रहण सुरू होते ते उजवीकडे की डावीकडे?

६. सूर्यग्रहणाच्या वेळी वृक्षपर्णांच्या छायेतील प्रकाशाच्या कवडशांना चंद्रकोरीसारखा आकार का येतो?

७. ग्रहणसमयी सूर्याची जी कोर दिसते तिच्यात आणि नेहमीच्या चंद्रकोरीत कोणता फरक असतो?

८. सूर्यग्रहण पाहताना काजळ लावलेली काच वापरणे का आवश्यक आहे?

उत्तरे

१. सूर्यग्रहणाच्या पूर्णमासाचा महत्तम काळ विषुववृत्तावर, ७ $\frac{१}{२}$ मिनिटे असतो. (वरच्या अक्षांशात काळ कमी होत जातो.) स्पर्शापासून मोक्षापर्यंत जो काळ जातो त्याला पर्वकाळ म्हणतात. आणि तो ४ $\frac{१}{२}$ तासांएवढा असू शकतो (विषुववृत्तावर).

चंद्रग्रहणाचा पर्वकाळ ४ तास असू शकतो. खग्रास चंद्रग्रहण १ तास ५० मिनिटांहून जास्त काळ टिकत नाही.

२. एका वर्षात सूर्यग्रहणे व चंद्रग्रहणे दोन्ही मिळून जास्तीतजास्त ७ व कमीत कमी २ असू शकतात. (१९३५ साली सात ग्रहणे झाली, ५ सौर आणि २ चांद्र.)

३. कोणत्याही एका वर्षात किमान दोन सूर्यग्रहणे झालीच पाहिजेत. काही काही वर्षांत चंद्रग्रहण मात्र एकही होत नाही; असे साधारण पाच वर्षांनी घडते.

४. उत्तर गोलार्धात चंद्रबिंबाचा सूर्यावरचा मार्ग **उजवीकडून डावीकडे** असतो.* सूर्यास त्याचा पहिला स्पर्श उजवीकडे होईल ही अपेक्षा ठेवावी. दक्षिण गोलार्धात याच्या उलट घडते.

५. उत्तर गोलार्धात चंद्र भूछायेत प्रवेश करतो तो डावीकडून; दक्षिण गोलार्धात उजवीकडून.

६. पानांच्या छायेतील कवडसे केवळ सूर्याचे बिंब दाखवितात. ग्रहणांत सूर्याचा आकार चंद्रकोरीसारखा होतो म्हणून त्याची छायेतील प्रतिमाही तशी दिसते. (आकृती ५६).

७. चंद्राच्या कोरीची बाहेरची कडा अर्धवर्तुळकार असते आणि आतली कडा अर्धविवृत्ताकार असते. सूर्यकोरीच्या दोन्ही कडा एकाच त्रिज्येच्या वर्तुळांचे चाप असतात. (पहा, 'चंद्राच्या कलांचे रहस्य,' पृष्ठ ५४).

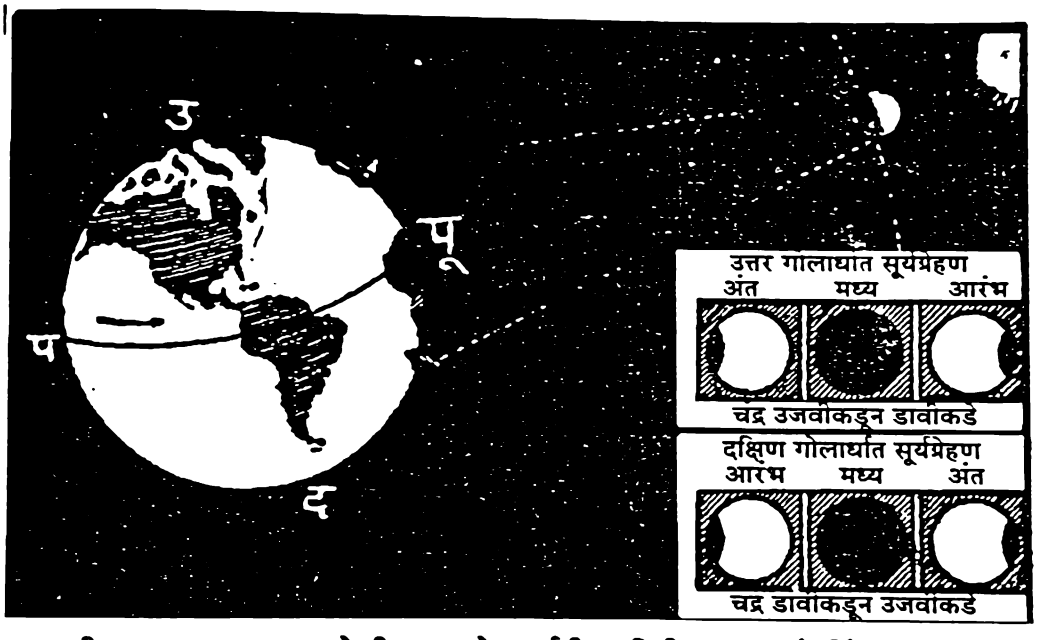
८. चंद्राने सूर्य अर्धवट झाकला असला तरी उघड्या डोळ्यांनी त्याच्याकडे पाहवत नाही. त्याचे किरण नेत्रांतील मज्जापटलाचा सर्वात संवेदनाक्षम भाग

---

* सूर्यग्रहणाचा स्पर्श बिंबाच्या पश्चिमेकडून होतो आणि मोक्ष पूर्व बाजूने होतो. चंद्रग्रहणाचा स्पर्श बिंबाच्या पूर्वेकडून आणि मोक्ष पश्चिमेकडून होतो. जेथे सूर्य नेहमीच दक्षिणेकडे आहे तेथे उजव्या-डाव्या बाजूची भाषा योग्य आहे. – **अनुवादक**

भाजून काढतात आणि त्यामुळे काही काळ आणि कधी कधी तर जन्मभर दृष्टी अधू होते.

थेट १३ व्या शतकात नोवगोरोडच्या एका लेखकाने लिहून ठेवले आहे, "ग्रेट नोवगोरोडमध्ये अनेक माणसांची दृष्टी या दिव्य चमत्कारापायी हरपली." हा धोका आपण सहज टाळू शकतो. त्यासाठी बरीच काळवंडलेली काच हाताशी हवी. काच मेणबत्तीवर धरून तिला पुष्कळ काजळ लागू द्यावे; त्यातून पाहिल्यास सूर्याचे बिंब तेवढे, किरण वा खळे यांच्याखेरीज, स्पष्ट दिसले पाहिजे. सोयीच्या दृष्टीने काजळ लावलेल्या बाजूवर दुसरी स्वच्छ काच ठेवून बाजूला कागद चिकटवावा. सूर्यग्रहण पाहतेवेळी परिस्थिती नेमकी कशी असेल हे आगाऊ सांगता येत नाही.



आकृती ५६ : ग्रहणाच्या वेळी उत्तरगोलार्धातील निरीक्षकास चंद्रबिंब उजवीकडून सूर्यामध्ये प्रवेश करताना दिसते आणि दक्षिण गोलार्धातील निरीक्षकाला त्याच्या उलट दिसते, असे का?

म्हणून निरनिराळ्या प्रमाणात काजळ लावलेल्या कित्येक काचा तयार ठेवणे अधिक योग्य होईल. रंगीत काचादेखील चालतील, मात्र दोन वेगळ्या रंगाच्या (शक्यतो पूरक रंगाच्या) काचा एकत्र घेतल्या पाहिजेत. नेहमीचा काळा चष्मा चालणार नाही. छायाचित्रांच्या निगेटिव काचादेखील चालतील, मात्र त्या पुरेशा काळ्या पडलेल्या असाव्यात.

चंद्रावर हवामान कसे आहे?

वास्तविक चंद्रावर हवामान नाहीच, निदान आपण समजतो त्या अर्थाने नाही. जेथे हवा नाही, ढग नाहीत, वाफ नाही, वारा नाही, पाऊस नाही तेथे हवामान कसले असणार? आपण फक्त चंद्राच्या पृष्ठभागाच्या तापमानाबद्दलच बोलू शकतो.

हा **पृष्ठभाग कितीसा उष्ण असतो?** ज्या योगे दूरच्या खस्थ गोलांचेच नव्हे तर त्यांच्या काही भागांचेदखील तापमान मापता येईल अशी उपकरणे आता ज्योतिःशास्त्रज्ञांकडे असतात. ही उपकरणे तापविद्युताच्या तत्त्वावर रचलेली असतात. डाख देऊन जोडलेल्या दोन भिन्न धातूंच्या प्रवाहकांत एका धातूचा भाग दुसऱ्याहून अधिक उष्ण झाल्यास विद्युतप्रवाह सुरू होतो; ह्या प्रवाहाची शक्ती तापमानातील फरकावर अवलंबून असते आणि तिच्या आधारे तापलेल्या भागास किती उष्णता मिळाली हे आपल्याला सांगता येते.

ह्या उपकरणाची अर्थग्राहिता आश्चर्यकारक आहे. त्याचा आकार अतिसूक्ष्म असतो (त्याचा सर्वात महत्त्वाचा भाग केवळ ०.२ मिलीमीटर लांब असतो आणि त्याचे वजन ०.१ मिलीग्रामहून अधिक नसते.) तरीसुद्धा थेट १० व्या प्रतीच्या ताऱ्याकडून येणारी उष्णतादेखील त्याला जागृत करते. वस्तुतः ही उष्णता एका अंशाच्या एक कोट्यांशाएवढेच तापमान वाढवू शकते! हे तारे दुर्बिणीखेरीज दिसूच शकत नाहीत आणि डोळ्यांनी अगदी जेमतेम दिसणाऱ्या ताऱ्यांच्या मानाने त्यांचे तेज फक्त $\frac{१}{६००}$ एवढेच असते. कित्येक किलोमीटर दूर ठेवलेल्या मेणबत्तीपासून जेवढी उष्णता मिळते तेवढाच परिणाम ह्या ताऱ्यांकडून मिळणाऱ्या नगण्य उष्णतेचा होऊ शकतो!

हे अद्‌भुत मापकयंत्र उपलब्ध झाल्यावर दुर्बिणीतून दिसणाऱ्या चंद्राच्या प्रतिमेच्या निरनिराळ्या भागांस ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी ते लावून पाहिले, यंत्रांत ग्रहण होणारी उष्णता मोजून पाहिली आणि त्या आधारे ह्या निरनिराळ्या भागांच्या तापमानांचा अंदाज केला. हे अंदाज १० अंशाच्या मर्यादेत बरोबर आहेत. त्यांचे निष्कर्ष पुढीलप्रमाणे (आकृती ५७ पहा) : **पूर्ण चंद्राच्या मध्यभागी तापमान १००° सें. हून जास्त आहे;** या ठिकाणी सांडलेले पाणी हवेच्या नेहमीच्या दाबाखालीच उकळू लागेल. एका ज्योतिःशास्त्रज्ञाने म्हटल्याप्रमाणे "चंद्रावर जेवण शिजवण्यासाठी आपल्याला शेगडीची गरज नाही; जवळचा कुठलाही खडक ती गरज भागवीलही." चंद्रबिंबाच्या मध्यापासून जसे दूर जावे तसे सर्व दिशांत तापमान सारखेच कमी होत जाते; पण २७०० किलोमीटर

अंतरावरसुद्धा ते ८०° से. हून कमी नसते. पुढे ते झपाट्याने कमी होऊन अखेर प्रकाशित गोलार्धाच्या कडेवर ते शून्याखाली ५०° से. पर्यंत उतरते. सूर्याला विन्मुख असलेल्या **अंधाऱ्या गोलार्धात** तर त्याहूनही अधिक थंडी असते. तेथे **तापमान शून्याखाली १६०° सें. पर्यंत खाली** जाते.

वर म्हटल्याप्रमाणे ग्रहणकाली चंद्र भूछायेत जातो, तेव्हा त्याच्या पृष्ठभागावर सूर्यकिरण पडायचे बंद होतात व तो पृष्ठभाग झपाट्याने थंड होत जातो. हे शीतलीभवन मापण्यात आले आणि एका खेपेस असे आढळले की ग्रहणादरम्यान तपमान ७०° सें. पासून शून्याखाली ११७° से. पर्यंत, म्हणजे १॥ किंवा २ तासांत जवळ जवळ २०० अंशानी खाली उतरले! सूर्यग्रहणाच्या वेळी पृथ्वीवर अशीच परिस्थिती उद्‌भवते तेव्हा तापमान फक्त २ अंशाने, किंवा फार झाले तर ३ अंशाने खाली उतरते. पृथ्वीत आणि चंद्रात हा जो फरक आहे त्याला पृथ्वीचे

आकृती ५७ : चंद्राच्या दृश्य गोलार्धातील मध्यावरचे तापमान ११०° से. पर्यंत चढते आणि मध्यापासून दूर जावे तसतसे ते कमी होत बाहेरच्या कडेस ते - ५०° सें. पर्यंत उतरते.

वातावरण कारणीभूत असल्याचे मानले जाते; हे वातावरण दृश्य सूर्यप्रकाशासाठी तुलनात्मकदृष्ट्या पारदर्शक असते तर तापलेल्या पृष्ठभागावरून येणाऱ्या अदृश्य उष्णता किरणांना मात्र अडवून धरते.

तसेच चंद्राच्या पृष्ठभागात साचलेली उष्णता एवढ्या झपाट्याने निघून जाते या गोष्टीवरून त्याची उष्णता-शोषणाची आणि वहनाची शक्ती अल्प असल्याचे दिसून येते; यामुळेच पृष्ठभागावर उष्णता फार कमी प्रमाणात साचते.

❑❑❑

प्रकरण तिसरे

ग्रह

दिवसा ग्रहदर्शन

दिवसाउजेडी; **प्रखर सूर्यप्रकाशांत ग्रहांचे दर्शन घडू शकते का?** हो, दुर्बिणीतून ते शक्य आहे. ज्योतिःशास्त्रज्ञ पुष्कळ वेळा ग्रहांचे वेध दिवसाच घेतात. त्यासाठी मध्यम शक्तीच्या दुर्बिणी चालतात. अर्थात हे दिवसाचे ग्रहदर्शन रात्रीएवढे स्वच्छ असत नाही. १० सेंटीमीटरच्या दूरदर्शकातून गुरू दिवसा पाहता येतो, एवढेच नव्हे तर त्याचे ते वैशिष्ट्यपूर्ण पट्टेदेखील ओळखता येतात. बुधाच्या बाबतीत तो दिवसा क्षितिजाच्या बराच वर असताना त्याचे निरीक्षण करणे अधिक सोयिस्कर असू शकेल. सूर्यास्तानंतर बुध आकाशात एवढा खाली गेलेला असतो की पृथ्वीच्या वातावरणामुळे त्याची दुर्बिणीतील प्रतिमा बरीच विकृत होते.

परिस्थिती अनुकूल असल्यास नुसत्या डोळ्यांनीसुद्धा काही ग्रह दिवसा पाहता येतात. त्यांपैकी सर्वात तेजस्वी ग्रह शुक्र हा दिवसा सर्वात जास्त वेळा दिसतो, अर्थात तो जास्तीतजास्त चमकत असताना. यासंबंधाने नेपोलियनविषयी आरागोने सांगितलेली एक गोष्ट सुप्रसिद्ध आहे. एकदा नेपोलियन विजयाच्या डौलात पॅरिसमधून सैन्याच्या अग्रभागी चालला होता. त्याचवेळी भरमध्यान्ही आकाशात शुक्र दिसू लागला. त्याच्या दर्शनाने स्तिमित झालेल्या जमावाचे लक्ष नेपोलियनवरून उडाले. लोक त्याला विसरून शुक्राकडेच पाहत राहिले आणि नेपोलियन त्यामुळे संतापला!

उघड्या जागांपेक्षा शहरांतील रस्त्यावरून शुक्राचे दर्शन दिवसा जास्त

चांगले होऊ शकते, कारण रस्त्याच्या बाजूच्या उंच इमारती सूर्यास झाकून टाकतात आणि त्याच्या प्रत्यक्ष किरणांच्या दिपविणाऱ्या प्रभावापासून डोळ्यांचे रक्षण करतात. शुक्राच्या दिन-दर्शनाचे उल्लेख रशियन तवारीखनाम्यात आलेले आहेत. नोवगोरोड तवारीखीत म्हटले आहे की, "१३३१ मध्ये एकदा दिवसा एका तेजस्वी ताऱ्याचे चमत्कारिक दर्शन चर्चवरच्या आकाशात घडले होते." डी. ओ. स्विआत्स्की आणि एम. ए. विलीएव यांनी नंतर शोधून काढल्याप्रमाणे तो शुक्रच होता.

शुक्राचे दिवसा दर्शन घेण्याच्या दृष्टीने सर्वात अनुकूल वेळ दर आठ वर्षांनी येत असते. लक्षपूर्वक तारे न्याहाळणाऱ्यांना केवळ डोळ्यांनी शुक्रच नव्हे तर गुरू आणि बुधदेखील दिवसा पाहण्याचे भाग्य लाभले असेल.

ग्रहांच्या तुलनात्मक तेजस्वितेबद्दल बोलणे यास्थळी योग्य होईल. सामान्य लोक कधी कधी विचारतात : शुक्र, गुरू आणि मंगळ यांत अधिक तेजस्वी कोण? अर्थात हे तिघे जर आकाशात एकाच वेळी चमकत असते किंवा जवळ जवळ असते तर हा प्रश्न उद्भवला नसता. पण ते भिन्न भिन्न स्थळी दिसत असल्यामुळे त्यांतला कोणता ग्रह अधिक तेजस्वी हा प्रश्न थोडा अवघडच आहे. तेजस्वितेचा क्रम पुढीलंप्रमाणे आहे : शुक्र, मंगळ आणि मग गुरू. हे तिघे व्याधाच्या ताऱ्याहून कित्येकपट तेजस्वी आहेत. बुध आणि शनी व्याधाहून क्षीण असले तरी पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून अधिक तेजस्वी आहेत. पुढच्या प्रकरणात ह्या मुद्द्याकडे आपण पुन्हा वळणार आहोत.

ग्रहांची चिन्हे

सूर्य, चंद्र आणि ग्रहांचा निर्देश करण्यासाठी आधुनिक शास्त्रज्ञ ज्या चिन्हांचा उपयोग करतात ती फार प्राचीन आहेत. चंद्राबद्दलचे चिन्ह स्वयंसिद्ध आहे, पण बाकीच्या चिन्हांचा खुलासा करायला हवा.

ग्रीक पुराणातील देव मर्क्युरी याचेच नाव (पाश्चात्त्यांनी) बुधास दिलेले आहे व त्या देवाच्या हातात जो दंड असे त्याचे संक्षिप्त चित्र बुधाचा निर्देश करण्यासाठी चिन्ह म्हणून वापरण्यात येते. शुक्राला (पाश्चात्त्यांनी) सौंदर्यदेवता व्हीनसचे नाव दिले आणि तिच्या स्त्रित्वाचे आणि सौंदर्याचे निदर्शक म्हणून हातातला आरसा हे चिन्ह शुक्राला दिले. गुरूचे आधुनिक पाश्चात्त्य नाव ज्युपिटर व प्राचीन ग्रीक नाव झ्यूस ह्या ग्रीक नावाचे आद्याक्षर म्हणजे गुरूचे चिन्ह. शनीही पाश्चात्त्य पुराणात भाग्याची देवता मानली जाते आणि फ्लामारियनच्या

मते शनीचे चिन्ह म्हणजे ह्या देवतेचे जे परंपरागत आयुध 'काळाचा विळा' त्याचेच भ्रष्ट चिन्ह होय.

☾ चंद्र
☿ बुध
♀ शुक्र
♂ मंगळ
♃ गुरू
♄ शनी
♅ यूरेनस
♆ नेपच्यून
♇ प्लुटो
☉ सूर्य
♁ पृथ्वी

आकृती : ५८
सूर्य, चंद्र, ग्रह यांची चिन्हे

ही चिन्हे ९ व्या शतकापासून प्रचारात आहेत. युरेनसचे चिन्ह अर्थात नंतरचे आहे. कारण ह्या ग्रहाचा शोधच १८ व्या शतकाच्या अखेरीस लागला. त्याचे चिन्ह म्हणजे एका वर्तुळावर H हे इंग्रजी अक्षर होय. हे अक्षर युरेनसचा शोध लावणारा हर्षल याची स्मृती कायम ठेवण्यासाठी योजलेले आहे. नेपच्यून म्हणंजे वरुण देव. त्याचा शोध १८४६ मध्ये लागला. पाश्चात्य पुराणांतील वरुणाच्या हाती त्रिशूल असे तोच नेपच्यूनच्या चिन्हात दाखविला आहे. प्लुटोचे चिन्ह म्हणजे त्याची दोन आद्याक्षरेच आहेत.

ह्या ग्रहचिन्हांच्या जोडीला आपण राहतो त्या ग्रहाचे पृथ्वीचे चिन्ह आणि आपल्या ग्रहमालेचा मध्यवर्ती तेजोगोल जो सूर्य त्याचे चिन्ह ही दोन घ्यायला हवीत. सूर्याचे चिन्ह सर्वात प्राचीन आहे. हजारो वर्षांपूर्वी इजिप्तचे लोक ते वापरीत असत.

पाश्चात्त्य ज्योति:शास्त्रज्ञ हीच चिन्हे आठवड्यातील वारांचा निर्देश करण्यांसाठीदेखील वापरतात. सूर्याचे चिन्ह रविवारसाठी, चंद्राचे सोमवारसाठी, मंगळाचे मंगळवारसाठी, गुरूचे गुरुवारसाठी, शुक्राचे शुक्रवारसाठी आणि शनीचे शनिवारसाठी. बऱ्याच जणांना याचे आश्चर्य वाटेल.*

परंतु लॅटिन किंवा फ्रेंच भाषेत वारांची नावे ग्रहांना धरून आहेत, रशियन भाषेसारखी नाहीत. म्हणून ह्या चिन्हांचा या वारांशी संबंध जुळणे स्वाभाविक आहे. अर्थात हे जे साम्य आहे त्याचा ज्योति:शास्त्रापेक्षा भाषाशास्त्राशी आणि सांस्कृतिक इतिहासाशीच अधिक संबंध आहे आणि म्हणून त्याचे येथें अधिक विवरण करण्याची गरज नाही.

प्राचीन काळचे किमयागार किंवा रससिद्ध ग्रहांची हीच चिन्हे निरनिराळ्या

---

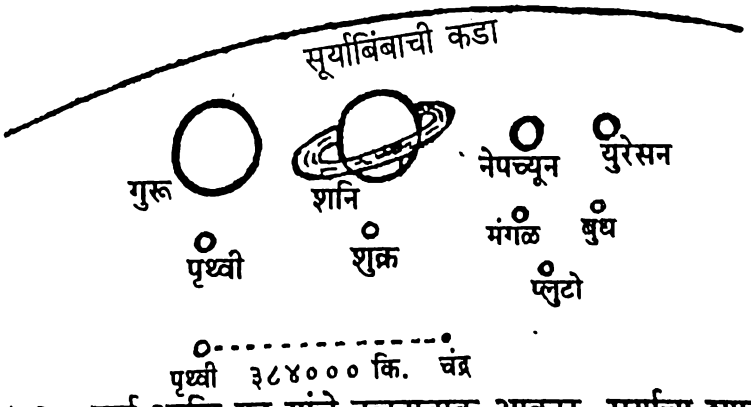
* हे विधान रशियन वाचकांना उद्देशून आहे. रशियन भाषेत वारांची नावे ग्रहांप्रमाणे नाहीत.
— अनुवादक.

धातूंसाठी वापरत असत. सूर्याचे चिन्ह सोन्यासाठी, चंद्राचे चांदीसाठी, बुधाचे पाऱ्यासाठी, शुक्राचे तांब्यासाठी, मंगळाचे लोखंडासाठी, गुरूचे कथिलासाठी आणि शनीचे शिशासाठी अशा तऱ्हेने ही चिन्हे वापरली जात. याचे मूळ त्यांच्या विचारसरणीत होते; प्रत्येक धातू त्यांनी एखाददुसऱ्या पौराणिक देवतेस वाहिलेला होता.

अखेरची गोष्ट म्हणजे आधुनिक वनस्पतिशास्त्रज्ञ आणि प्राणिशास्त्रज्ञ पुंजातीय व स्त्रीजातीय यांचा निर्देश करण्यासाठी मंगळ आणि शुक्र यांचीच चिन्हे वापरतात. हादेखील ग्रहचिन्हांविषयींच्या मध्ययुगीन पूज्यभावाचाच एक अवशेष आहे. वर्षजीवी वनस्पतींचा निर्देश करण्यासाठीसुद्धा वनस्पतिशास्त्रज्ञ सूर्याच्या ज्योति:शास्त्रीय चिन्हाचाच उपयोग करतात. तेच चिन्ह किंचित बदलून (वर्तुळात दोन टिंबे देऊन) द्विवर्षजीवी वनस्पतींसाठी ते वापरतात. गुरूचे चिन्ह बारमासी गवतासाठी आणि शनीचे झाडाझुडुपांसाठी वापरतात.

आपल्या आवाक्याबाहेरची आकृती

आपल्या सूर्यमालेचा आराखडा कागदावर तंतोतंत काढून दाखवणे सर्वस्वी अशक्य आहे. सूर्यमालेचा आराखडा म्हणून जी आकृती ज्योति:शास्त्रावरच्या पुस्तकात दाखविलेली असते ती खरोखर ग्रहांच्या **कक्षांची** आकृती असते, ती सूर्यमाला मुळीच नव्हे. मापन-प्रमाण साफ झुगारून दिल्याखेरीज अशा आकृतीत ग्रह दाखविणे शक्यच नाही. ग्रहांमधील अंतराच्या मानाने ग्रहांचा स्वत:चा आकार एवढा क्षुल्लक आहे की त्यांच्या प्रमाणाची यथार्थ कल्पना करणेदेखील कठीण आहे. ग्रहमालेची छोटी प्रतिकृती घेतल्यास त्याची कल्पना करणे आपल्याला अधिक सोपे जाईल. तसेच सूर्यमालेचा आराखडा पेन्सिलीने कागदावर काढणे का अशक्य आहे हेही स्पष्ट होईल. ग्रह आणि सूर्य यांच्या आकारांचे तुलनात्मक प्रमाण दाखविणे एवढेच आपण करू शकतो.



आकृती ५९ : सूर्य आणि ग्रह यांचे तुलनात्मक आकार. सूर्याचा व्यास १९ से.मी. धरून त्या प्रमाणात ग्रहांचे आकार दाखविले आहेत.

पृथ्वी दाखविण्यासाठी आपण अगदी लहान प्रमाण, टाचणीचे डोके घेउ समजा, पृथ्वी हा एक मिलिमीटर व्यासाचा गोळा आहे. याचा अर्थ, १५००. किलोमीटरला १ मिलिमीटर, किंवा एकास १५,०००,०००,००० अ प्रमाण आपण घेत आहोत. चंद्र म्हणजे $\frac{१}{४}$ मि. मी. व्यासाचा बारीकसा क होईल व तो ह्या टाचणीच्या डोक्यापासून ३ सेंटीमीटर अंतरावर ठेवावा लागेल सूर्य १० सें. मी. व्यासाचा गोळा म्हणून दाखवावा लागेल व तो पृथ्वीपासू १० मीटर अंतरावर ठेवावा लागेल. म्हणजे एखाद्या प्रशस्त दालनाच्या एक कोपऱ्यात एक चेंडू आणि दुसऱ्या कोपऱ्यात एका टाचणीचे डोके यावरून सू आणि पृथ्वी यांचे अवकाशामधील नाते कसे आहे याची कल्पना येईल पदार्थापेक्षा अवकाश कितीतरी अफाट आहे हे यावरून तुमच्या लक्षात येईल सूर्य आणि पृथ्वी यांच्यामध्ये आणखी दोन ग्रह—बुध आणि शुक्र—हे आहेत हे खरे असले तरी ही प्रचंड पोकळी भरून काढायला त्यांचा काहीएक उपयो नाही. आपल्या प्रशस्त दालनात त्यांच्यासाठी फक्त दोन बारीक टिंबांची भ घालावी लागेल. त्यातले जे एक बुधासाठी असेल ते $\frac{१}{३}$ मि. मी. व्यासाचे व सूर्यरूपी चेंडूपासून ४ मीटर अंतरावर असेल आणि दुसरे शुक्रासाठी, चेंडूपासून ७ मीटर अंतरावर असेल.

पृथ्वीच्या दुसऱ्या बाजूलाही पदार्थाचे कण असतील. मंगळाचा व्यास $\frac{१}{२}$ मि. मी. होईल व तो सूर्य-चेंडूपासून १६ मीटर अंतरावर दाखवावा लागेल. पृथ्वी आणि मंगळ दाखविणारे कण दर १५ वर्षांनी सर्वात जवळ युतिस्थानी येतील तेव्हा त्यांच्यामधील अंतर ४ मीटर असेल; ह्या दोन जगांमधील सर्वांत लहान अंतर तेवढे आहे. मंगळाला दोन उपग्रह आहेत, परंतु ते आपल्या प्रतिकृतीत दाखविताच येणार नाहीत कारण आपण घेतलेल्या प्रमाणानुसार त्यांचा आकार अतिसूक्ष्म जंतूएवढा होतो. मंगळ आणि गुरू यांच्यामधील अवकाशात भ्रमण करणारे जे १५०० लघुग्रह त्यांचाही आकार तेवढाच अतिसूक्ष्म होईल. आपल्या प्रमाणानुसार ते सूर्यापासून सरासरी २८ मीटर अंतरावर असतील. त्यांच्यापैकी सर्वात मोठ्या लघुग्रहाची जाडी आपल्या प्रतिकृतीत एका केसाएवढी ($\frac{१}{२०}$ मि. मी.) असेल आणि सर्वात लहान लघुग्रह एका जंतूएवढा असेल.

नावाप्रमाणे प्रचंड असलेल्या गुरूच्या जागी आपल्या प्रतिकृतीत सुपारीएवढा (१ सें. मी.) गोळा सूर्य-चेंडूपासून ५२ मीटर अंतरावर ठेवावा लागेल. त्याच्या १२ उपग्रहांपैकी सर्वात मोठे जे चार आहेत ते त्याच्यापासून अनुक्रमे ३,४,७

आणि १२ सें.मी. दूर असतील; सर्वात मोठ्या उपग्रहाचा आकार $\frac{१}{२}$ मि. मी. व्यासाचा राहील व बाकीचे जंतूएवढे असतील. सर्वात दूरचा उपग्रह (क्र. ९) गुरूच्या सुपारीपासून २ मीटर दूर असेल. म्हणजे एकूण गुरु-कुल आपल्या प्रतिकृतीत ४ मीटर व्यासाचे असेल. पृथ्वी-चंद्र जोडीचा ६ सें.मी. व्यास लक्षात घेता हा आकार बराच आहे, परंतु गुरूच्या कक्षेच्या १०४ मीटर व्यासाशी तुलना करता तो लहानच आहे.

एका आकृतीत सूर्यमाला दाखविण्याचा उद्योग किती निरर्थक आहे हे आता लक्षात येईल, जेवढे दूर जावे तेवढे हे अधिक स्पष्ट होत जाते. शनी दाखविण्यासाठी ८ मि. मी. व्यासाची लहान सुपारी घ्यावी लागेल आणि ती सूर्य-चेंडूपासून १०० मी. अंतरावर ठेवावी लागेल. शनीची कडी ४ मि. मी. रुंद आणि $\frac{१}{३५०}$ मि. मी. जाड असतील व ती सुपारीच्या पृष्ठभागापासून १ मि.मी. दूर ठेवावी लागतील. शनीचे ९ उपग्रह त्याच्याभोवती अर्ध्या मीटरच्या अंतरात विखुरलेले असतील आणि त्यांचा आकार $\frac{१}{१०}$ मि. मी. व त्याहून कमी व्यासाच्या कणांएवढा असेल.

आपण जसजसे ग्रहमालेच्या कडेजवळ जातो तसतशी ग्रहांमधील रिकामी जागा वाढतच जाते. आपल्या प्रतिकृतीत युरेनस सूर्यापासून १९६ मी. दूर असेल आणि त्याचा आकार ३ मि. मी. व्यासाच्या वाटाण्याएवढा असेल; त्याचे पाच उपग्रह त्याच्यापासून ४ सें.मी. अंतरात विखुरलेले ५ बारीक कण असतील.

अलीकडेपर्यंत ग्रहमालेतला शेवटचा ग्रह म्हणून मान्यता पावलेला नेपच्यून त्याहून छोट्या वाटाण्याएवढा असेल. त्याचे दोन उपग्रह ट्रायटन आणि नेरीड त्याच्यापासून अनुक्रमे ३ व ७० सें.मी. दूर असतील. स्वत: नेपच्यून मध्यवर्ती गोळ्यापासून ३०० मी. अंतरावर मंद गतीने फिरत राहील.

त्याच्याही पलीकडे आपल्या प्रतिकृतीत ४०० मी. अंतरावर, प्लुटोचा छोटा ग्रह असेल. त्याचा व्यास पृथ्वीच्या निम्मा आहे.

ह्या अंतिम ग्रहाची कक्षा म्हणजे आपल्या सूर्यमालेची सीमा असेही धरता येणार नाही. कारण सूर्यमालेत ग्रहांखेरीज धूमकेतू आहेत. त्यांपैकी बरेच सूर्याभोवती बंद मार्गांत फिरत असतात. त्यातल्या काहींचा आवर्तनकाळ ८०० वर्षे आहे. इ.स. पूर्व ३७२, इ. स. ११०६, १६६८, १६८०, १८४३, १८८०, १८८२ (२ धूमकेतू) आणि १८८७ मध्ये दिसलेले धूमकेतू त्यात मोडतात.

त्यांचा भ्रमणमार्ग अत्यंत लांबट विवृत्ताच्या आकाराचा आहे. आपल्या प्रतिकृतीत या मार्गाचा सूर्यापासून सर्वात जवळचा बिंदू (शीघ्रोच्च किंवा अनुसूर बिंदू) फक्त १२ मि. मी. अंतरावर असेल तर सर्वात दूरचा बिंदू (मंदोच्च किंवा अपसूर बिंदू) १७०० मी. अंतरावर, म्हणजे प्लुटोच्या मानाने चौपट दूर असेल. हे धूमकेतू जमेस धरून सूर्यमालेचा आकार मोजावयाचा झाल्यास आपल्या प्रतिकृतीचा व्यास ३।। कि.मी. होईल, तिचा विस्तार ९ चौरस कि.मी. असेल—आणि लक्षात असू द्या, या विस्तारात पृथ्वी टाचणीच्या डोक्याएवढीच राहील! या ९ चौरस किलोमीटर विस्तारात पुढील वस्तू असतील—एक चेंडू, दोन सुपाऱ्या, दोन वाटाणे, दोन टाचण्यांची डोकी आणि त्याहून लहान तीन कण!

धूमकेतू संख्येने पुष्कळ असले तरी त्यांची दखल आपण घेत नाही. त्यांचे वस्तुमान एवढे अल्प आहे की त्यांना 'अदृश्य शून्ये' म्हणण्यात येते ते सार्थच आहे.

यावरून आपण पाहाल की आपली ग्रहमाला योग्य प्रमाणानुसार कागदावर रेखाटणे अशक्य आहे!

बुधावर वातावरण कां नाही?

ग्रहावर वातावरण असणे याचा आणि त्याच्या अक्षभ्रमणाच्या काळाचा परस्परांशी काय संबंध आहे? काही संबंध नसावा असेच वाटते. परंतु सूर्याचा निकटतम ग्रह जो बुध त्याचे उदाहरण घेतल्यास काहींच्या बाबतीत असा संबंध असल्याचे आढळते.

पृथ्वीसारखे वातावरण स्वत:जवळ राखून ठेवण्याइतके सामर्थ्यवान गुरुत्वाकर्षण बुधाच्या पृष्ठभागावर आहे. अर्थात त्याचे वातावरण पृथ्वीच्या एवढे घन असणार नाही.

बुधाच्या पृष्ठभागावरील ह्या गुरुत्वाकर्षणावर पूर्णपणे मात करायला दर सेकंदास ४९०० मीटर एवढा वेग हवा. तापमान कमी असल्यास एवढा वेग आपल्या वातावरणातील सर्वात जलद अणूदेखील धारण करू शकत नाहीत.* आणि तरीदेखील बुधावर वातावरण नाहीच. याचे कारण असे की चंद्र ज्या प्रकारे पृथ्वीभोवती फिरतो त्याच प्रकारे बुध सूर्याभोवती फिरत असतो; म्हणजे आपली एकच बाजू सूर्याकडे वळलेली ठेवून फिरत असतो. त्याच्या कक्षाभ्रमणाचा

---

* प्रकरण २ मधील पृष्ठ ६५ वरील 'चंद्रावर हवा कां नाही' हा भाग पहा.

काळ (८८ दिवस) त्याच्या अक्षभ्रमणाच्या काळाएवढाच आहे. यामुळे सूर्याकडे सतत वळलेल्या बुधाच्या बाजूवर अखंड दिवस व कायमचा उन्हाळा असतो. तर पाठच्या बाजूला अखंड रात्र आणि कायमचा हिवाळा असतो. अखंड दिवस असलेली बाजू किती तापलेली असेल याची सहज कल्पना करता येईल. त्या ठिकाणी सूर्य पृथ्वीच्या मानाने अडीचपट जवळ आहे, त्यामुळे सूर्यकिरणांचा प्रभाव तेथे २$\frac{१}{२}$ X २$\frac{१}{२}$ म्हणजे ६$\frac{१}{४}$ पट मोठा असणार. उलट रात्रीची बाजू, जिला सूर्यकिरणांचा स्पर्शदेखील कोट्यवधी वर्षांत झालेला नाही, ती बाजू अतिशय थंड असणार. तिचे तापमान जवळ जवळ रिकाम्या अवकाशातील* तापमानाएवढे (साधारण २६४° सें.) असेल, कारण प्रकाशित बाजूची उष्णता ग्रहगोलांतून आरपार जाऊ शकत नाही. दोहोंच्या सीमेवर २३° रुंदीचा पट्टा आहे. तेथे आंदोलनांपायी** सूर्य मधून मधून डोकावत असतो.

अशा विलक्षण हवामानात ग्रहाच्या वातावरणाचे काय होईल? ही गोष्ट उघड आहे की कमालीच्या थंडीमुळे रात्रिव्याप्त गोलार्धातली हवा गोठून जाईल. त्यामुळे तेथे हवेचा दाब अतिशयच घसरून दिनव्याप्त बाजूची हवा त्या दुसऱ्या शीत गोलार्धाकडे सोसाट्याने जाईल व तीही तेथे गोठून जाईल. परिणामी सारे वातावरण ह्या रात्रिव्यात भागात, किंवा सूर्यकिरणांचा स्पर्श न होणाऱ्या भागात घनरूपात जमा होईल. अशा प्रकारे बुधावर वातावरण नसणे ही वास्तव नियमांची अपरिहार्य परिणती होय.

चंद्राच्या अदृश्य बाजूवर वातावरण असेल असा जो तर्क पुष्कळ वेळा लढविण्यात येतो तोही याच कारणास्तव त्याज्य मानला पाहिजे.*** 'चंद्रावरचे पहिले मानव' ह्या एच. जी. वेल्सच्या चमत्कृतिपूर्ण पुस्तकात ही चूक केलेली आहे. ह्या कादंबरीकाराच्या म्हणण्याप्रमाणे चंद्रावर हवा आहे, ती पंधरवडाभर टिकणाऱ्या रात्रीत गोठते पण पुन्हा दिवस उजाडताच वायुरूप होऊन वातावरणाची

---

* पदार्थविज्ञान शास्त्रज्ञांच्या भाषेत 'अवकाशाचे तापमान' याचा अर्थ सूर्यकिरणांपासून आडोशात ठेवलेले व काळा रंग दिलेले तापमापक जे तापमान अवकाशात दाखवील ते तापमान. तारका किरणांच्या उष्णतादायक प्रभावामुळे हे तापमान केवळ शून्य (-२७३° से.) तापमानापेक्षा थोडे जास्त असते.

** पहा प्रकरण २, पृष्ठ ६०, 'चंद्राच्या दृश्य आणि अदृश्य बाजू'. चंद्राच्या बाबतीत साधारणपणे लागू असलेला नियम बुधाच्या लंबोत्तर आंदोलनासही लागू पडतो. बुधाचा एक गोलार्ध सूर्याकडे नव्हे तर त्याच्या काहीशा लांबट कक्षेच्या दुसऱ्या केंद्राकडे अखंड वळलेला असतो.

*** पृ. ६८ वरची टीप पहा.

जागा घेते. प्रत्यक्षात तसे काही घडत नाही. या संदर्भात प्रो. ओ. डी. ख्वोल्सन लिहितात, "जर चंद्राच्या अंधाऱ्या बाजूची हवा गोठून घट्ट बनली, तर प्रकाशित बाजूकडची जवळ जवळ सर्व हवा अंधाऱ्या बाजूकडे वहात जाईल व तेथे तीही गोठून घट्ट होईल. सूर्यकिरणांनी ही घन हवा पुन्हा वायुरूप होईल व ती पुन्हा मागच्या अंधाऱ्या बाजूकडे जाऊन गोठून जाईल... म्हणजे हवेचे अखंड उर्ध्वपातन होत राहील आणि ती कधीच जाणवण्याइतकी लवचीक होणार नाही."

बुध आणि चंद्र दोहोंवर वातावरण नाही असे आपण सांगू शकतो. पण सूर्यापासून अंतराने दुसऱ्या क्रमांकास असलेल्या शुक्रावर मात्र उलट परिस्थिती आहे.

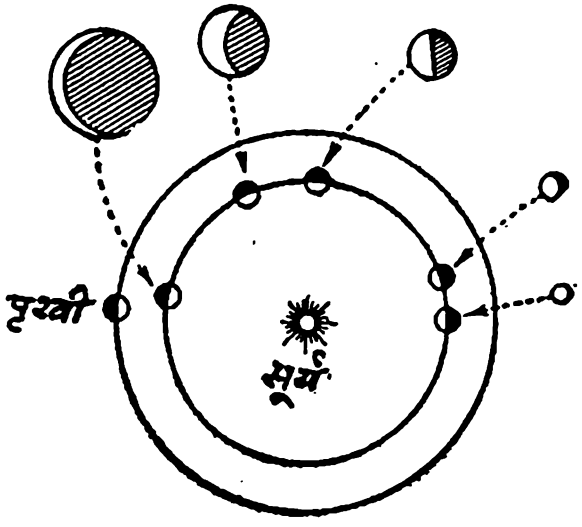
तसेच हेही आढळून आले आहे की शुक्राच्या वातावरणात, किंवा जास्त अचूक सांगायचे तर त्याच्या उर्ध्वमंडळात कार्बनडायॉक्साइड फार विपुल प्रमाणात आहे, पृथ्वीच्या वातावरणात आहे त्याहून हजारो पटीने जास्त आहे.

शुक्राची क्षयवृद्धी

प्रख्यात जर्मन गणितज्ञ गॉस याने सांगितलेली ही गोष्ट आहे. संध्याकाळी शुक्राची तेजस्वी चांदणी आकाशात चमकत होती व त्याने आपल्या आईला दुर्बिणीतून ती पहावयास सांगितले. दुर्बिणीतून शुक्राची कोर दिसते व ती दाखवून आपल्या आईला चकित करण्याचा गॉसचा बेत होता. चकित होण्याची पाळी गॉसवरच आली! कारण त्याच्या आईने मुळीच आश्चर्य न दाखविता एवढेच विचारले की "कोर उलटी का दिसते?" आपली आई नुसत्या डोळ्यांनी शुक्राच्या कला ओळखू शकते याची गॉसला त्या वेळी मुळीच कल्पना नव्हती. तिची सूक्ष्म दृष्टी फारच विरळा आहे आणि दुर्बिणीचा शोध लावण्यापूर्वी चंद्राप्रमाणे शुक्राचीसुद्धा क्षयवृद्धी होत असते हे कोणाच्या स्वप्नांतही नव्हते.

शुक्राच्या **कलांचे एक विशेष लक्षण म्हणजे वेगवेगळ्या दशेत त्याचा व्यास बदलत असतो.** त्याची बारीक कोर दिसते तेव्हा तिचा व्यास पूर्ण बिंबाच्या व्यासापेक्षा पुष्कळ मोठा असतो. (आकृती ६०). याचे कारण निरनिराळ्या कलांच्या वेळी शुक्र आपल्यापासून निरनिराळ्या अंतरावर असतो. शुक्र सूर्यापासून सरासरी १०८,०००,००० कि.मी. अंतरावर आहे. पृथ्वी १५०,०००,००० कि.मी. वर. साध्या हिशोबावरून दिसते की या दोन ग्रहांतील किमान अंतर या दोहोंच्या वजाबाकीएवढे म्हणजे ४२,०००,००० कि.मी. असते आणि कमाल अंतर दोहोंच्या बेरजेएवढे म्हणजे २५८,०००,००० कि.मी एवढे असते.

म्हणून **शुक्राचे आपल्यापासूनचे अंतर** या दोन मर्यादांमध्ये **बदलत जाते.** शुक्र निकटतम असताना त्याची अंधारी बाजू आपल्याकडे वळलेली असते व त्यामुळे त्याचे महत्तम रूप आपल्याला दिसत नाही. ह्या 'अमावास्येच्या' स्थानापासून शुक्र दूर जाऊ लागला की त्याची कोर दिसू लागते आणि जेवढी ही कोर जाड होत जाते तेवढा त्याचा व्यास कमी होत जातो.



आकृती ६० : दुर्बिणीतून दिसणाऱ्या शुक्राच्या कला. पृथ्वीपासून शुक्राचे अंतर बदलत असल्यामुळे शुक्रबिंबाचा दृश्य व्यास निरनिराळ्या कलांत कमी-अधिक होतो.

शुक्र सर्वात तेजस्वी दिसतो तो त्याचे बिंब पूर्ण असताना नव्हे किंवा त्याचा व्यास महत्तम असतानाही नव्हे, तर त्यांच्या दरम्यानच्या एका स्थितीत. पूर्णबिंबाचे दर्शन घडते ते १०'' विकलांचा कोन दृष्टीशी करून, त्याची महत्तम कोर दिसते ती ६४'' चा कोन करून. उलट 'शुक्र अमावास्येच्या' ३० दिवसानंतर त्याचा कोनिक व्यास ४०'' विकला असताना आणि कोरीची कोनिक रुंदी १० विकलांची असताना तो सर्वांत तेजस्वी दिसतो. त्या वेळी आकाशातील सर्वात तेजस्वी तारा जो व्याध, त्याच्यापेक्षा १३ पट तेजाने तळपत असतो.

सर्वात अनुकूल षड्भांतर

मंगळ पृथ्वीच्या अत्यंत जवळ येतो आणि सर्वात तेजस्वी दिसतो असा योग साधारण दर १५ वर्षांनी येतो हे पुष्कळांना माहीत असेल. त्या योगाचे

ज्योतिःशास्त्रीय नाव 'सर्वांत अनुकूल षड्भांतर'* असे आहे व ते चांगलेच लोकप्रिय आहे. मंगळाची अशी गाजलेली षड्भांतरे १९२४, १९३९ आणि १९५६ साली घडली. पण ती दर पंधरा वर्षांनीच का यावीत याचे कारण थोड्यांनाच माहीत असते. वास्तविक यासबंधीचे गणित फार सोपे आहे.

पृथ्वीचा कक्षा प्रदक्षिणाकाल ३६५ $\frac{१}{४}$ दिवस आहे, मंगळाचा ६८७ दिवसांचा आहे. जर एखाद्या प्रसंगी हे दोन ग्रह निकटतम येऊन त्यांची युती घडली, तर पुन्हा तशीच युती घडेपर्यंतच्या काळात पृथ्वीची व मंगळाची दोहोंची पूर्ण वर्षे लोटली पाहिजेत.

याचा अर्थ आपण पुढील समीकरण उत्तरे पूर्णांकांत येतील अशा प्रकारे सोडविले पाहिजे.

$$३६५\frac{१}{४}\,\text{क्ष} = ६८७\,\text{य}$$

किंवा $\text{क्ष} = १.८८\,\text{य}$

म्हणून $\frac{\text{क्ष}}{\text{य}} = १.८८ = \frac{४७}{२५}$

शेवटच्या अपूर्णांकाचे अखंड अपूर्णांकात रूपांतर केल्यास (पृ. ९१-९२ पहा)

$$\frac{४७}{२५} = १ + \cfrac{१}{१ + \cfrac{१}{७ + \cfrac{१}{३}}}$$

पहिले तीन तुकडे घेतल्यास

$$१ + \cfrac{१}{१ + \cfrac{१}{७}} = \frac{१५}{१८}$$

अशा प्रकारे पृथ्वीची १५ वर्षे म्हणजे मंगळाची ८ वर्षे; सबब मंगळाचे निकटतम षड्भांतर दर १५ वर्षांनी घडावयास पाहिजे. ($\frac{\text{क्ष}}{\text{य}}$चे मूल्य १.८८०९ या अधिक अचूक संख्येऐवजी १.८८ घेऊन आपण प्रश्न अधिक सोप्या रूपात घेतला आहे.)

* षड्भांतर म्हणजे सूर्यापासून ६ राशींचे अंतर. अर्थात षड्भांतरी सूर्य व ग्रह यात निम्म्या खगोलाचे अंतर असते, म्हणजे पृथ्वीच्या एका बाजूला सूर्य व दुसऱ्या बाजूला ग्रह असतो, मंगळ नीची असताना षड्भांतर सर्वात अनुकूल असते, त्या स्थितीत मंगळ पृथ्वीपासून अगदी जवळ येतो. – **अनुवादक**

गुरूची निकटतम षड्भांतरे केव्हा घडतात हे शोधून काढण्यासाठीदेखील या पद्धतीचा उपयोग होऊ शकेल. गुरूचे एक वर्ष ११.८६ (११.८६२२) पार्थिव वर्षाएवढे आहे. ह्या अपूर्णांकास अखंड अपूर्णांकाचे रूप दिल्यास,

$$११.८६ = ११\frac{४३}{५०} = ११+\cfrac{१}{१+\cfrac{१}{६+\cfrac{१}{७}}}$$

पहिल्या तीन तुकड्यांवरून येणारे निकट उत्तर $\frac{८३}{७}$ आहे. म्हणून गुरूची निकटतम षड्भांतरे दर ८३ पार्थिव वर्षांनी किंवा दर ७ गुरुवर्षांनी घडतात. दिसायला गुरू अत्यंत तेजस्वी दिसतो तो या प्रसंगी. गुरूचे शेवटचे निकटचे षड्भांतर १९२७ साली झाले. पुन्हा २०१० साली होईल. त्या वेळी गुरू पृथ्वीपासून ५८७,०००,००० कि.मी. दूर असेल. सूर्यमालेचा हा सर्वात मोठा ग्रह पृथ्वीपासून सर्वात जवळ येतो तेव्हा या अंतरावर असतो.

गुरू ग्रह की छोटा सूर्य?

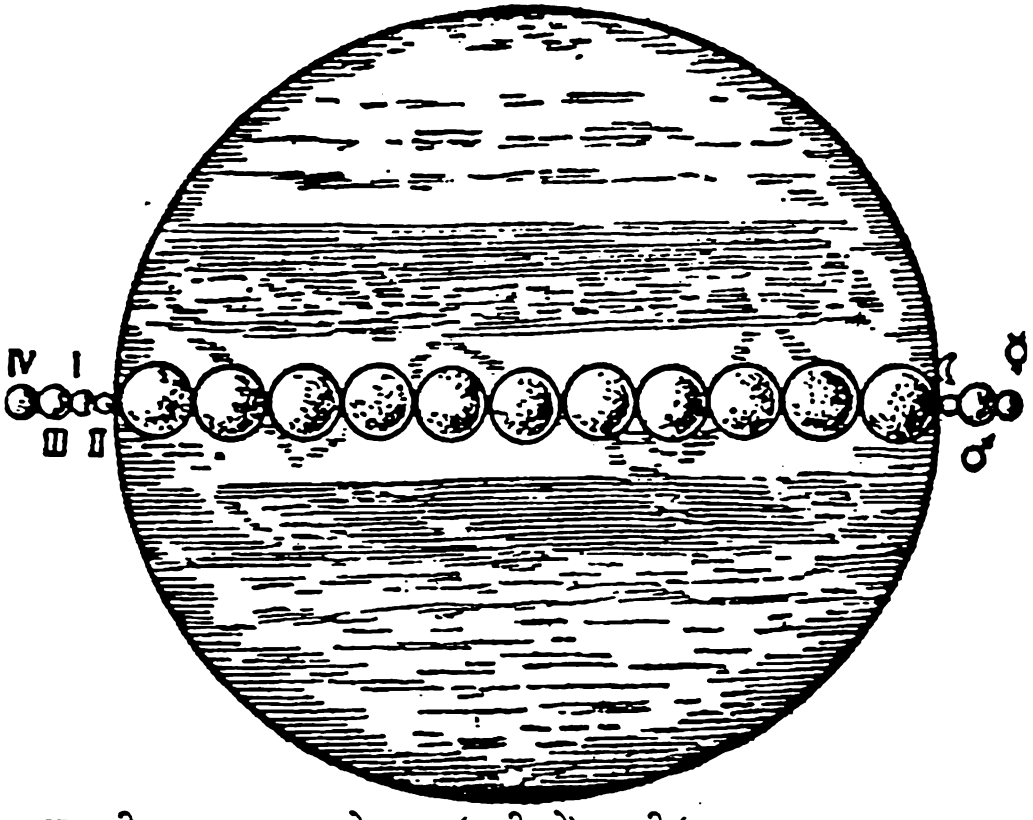
ग्रह की छोटा सूर्य असा प्रश्न आपण या महत्तम ग्रहाविषयी, गुरूविषयी विचारू शकतो. **गुरू १३०० पृथ्वी सामावून घेईल एवढा मोठा** आहे. त्याच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे उपग्रहांचा एक सबंध थवा गुरूभोवती फिरत असतो. ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी गुरूचे १२ उपग्रह असल्याचे शोधून काढले आहे. त्यांपैकी सर्वात मोठे चार गॅलिलिओने तीन शतकांपूर्वी शोधून काढले आणि त्याचा निर्देश १,२,३ व ४ या संख्यांच्या रोमन आकड्यांनी केला. पैकी उपग्रह ३ व ४ हे बुधाएवढे मोठे आहेत.

खालील कोष्टकात या उपग्रहांच्या व्यासांची तुलना बुध व मंगळ यांच्या व्यासांशी केली आहे. तसेच गुरूचे पहिले दोन उपग्रह आणि आपला चंद्र यांचेही व्यास त्यात दाखविले आहेत.

नाव					व्यास	
मंगळ ...		...	...	...	६६००	कि.मी.
गुरूचा उपग्रह	४	...	...	...	५१५०	कि.मी.
गुरूचा उपग्रह	३	...	...	...	५१५०	कि.मी.
बुध ...		...	...	...	४७००	कि.मी.
गुरूचा उपग्रह	१	...	...	...	३७००	कि.मी.

चंद्र	...	...	...	...	३४८०	कि.मी.
गुरूचा उपग्रह	२	...	...	...	३२२०	कि.मी.

आकृती ६१ मध्ये हे कोष्टक चित्ररूपाने दाखविले आहे. मोठे वर्तुळ म्हणजे गुरू, त्याच्या आडव्या व्यासावर दाखविलेला प्रत्येक गोल म्हणजे



आकृती ६१: गुरू, त्याचे उपग्रह (डावीकडे), पृथ्वी (गुरूच्या आत त्याच्या व्यासावर) आणि चंद्र, मंगळ व बुध (उजवीकडे).

पृथ्वी, उजव्या बाजूला चंद्र, मंगळ आणि बुध व डाव्या बाजूला गुरूचे चार मोठे उपग्रह. हा आराखडा नसून चित्र आहे हे लक्षात ठेवा. या सर्व गोलांच्या क्षेत्रफळांची तुलना केल्याने त्यांच्या घनफळाची तुलना होत नाही. कारण घनफळ हे त्यांच्या व्यासाच्या घनसंख्येच्या प्रमाणात असते.

गुरूचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या ११ पट आहे; त्या अर्थी गुरूचे घनफळ पृथ्वीहून $११^३$ किंवा १३०० पट हवे. त्यानुसार आकृती ६१ मधील दृश्यास मुरड द्या म्हणजे गुरूच्या प्रचंडपणाची तुम्हाला योग्य कल्पना येऊ शकेल.

गुरूचे गुरुत्वाकर्षण म्हणाल तर ते खरोखरीच **विस्मयजनक** आहे. विशेषत: तो आपल्या चंद्रांना किती दूर दूरच्या अंतरावर फिरते ठेवतो ह्याचा विचार केल्यास ही गोष्ट सहज पटेल. संबंधित अंतराबद्दलचे खालील कोष्टक पहा.

अंतर	कि.मी. मध्ये	किती पट
चंद्राचे पृथ्वीपासून	३८०,०००	१
उपग्रह ३ चे गुरूपासून	१,०७०,०००	३
उपग्रह ४ चे गुरूपासून	१,९००,०००	५
उपग्रह ९ चे गुरूपासून	२४,०००,०००	६३

यावरून तुम्ही पाहू शकता की गुरूचे कुल पृथ्वी-चंद्र कुलापेक्षा ६३ पट मोठे आहे. अन्य कोणत्याही ग्रहाचे उपग्रह इतके दूरवर विखुरलेले नाहीत.

म्हणून गुरूला सूर्यासारखा लेखण्यात येते ते निराधार नाही. **गुरूचे वस्तुमान** इतर सर्व ग्रहांच्या एकूण वस्तुमानाहून तिप्पट आहे आणि सूर्य कधी एकाएकी नाहीसा झालाच तर गुरू त्याची जागा घेईल आणि इतर सर्व ग्रहांना मंदगतीने का होईना स्वत:भोवती फिरावयास लावील.

गुरू आणि सूर्य यांच्या प्राकृतिक रचनेतही साम्य आहे. **गुरूची सरासरी घनता** पाण्याच्या १.३५ पट—सूर्याच्या घनतेच्या (१.४) निकट आहे. परंतु गुरूच्या चपटगोल आकारावरून असे दिसते की त्याचा अंतर्भाग घट्ट असावा आणि त्याभोवती बर्फाचा जाड थर व प्रचंड वातावरण असावे.

अगदी अलीकडेपर्यंत गुरू-सूर्याचे साम्य याहूनही अधिक लेखण्यात येत असे; अशी कल्पना होती की गुरूला घन पापुद्राच नसावा आणि तो प्रकाशमान ज्योतीच्या अवस्थेतून नुकताच बाहेर पडलेला असावा, हे मत आता त्याज्य ठरविण्यात आले आहे. **गुरूचे तापमान** प्रत्यक्ष मापल्यावर ते अतिशय कमी, म्हणजे थेट शून्याच्या खाली १४° से. असल्याचे आढळून आले. अर्थात हे गुरूच्या वातावरणात तरंगणाऱ्या ढगांचे तापमान आहे.

गुरूच्या ह्या अत्यल्प तापमानामुळे त्याच्या वातावरणातील वादळे, त्याच्यावरचे पट्टे, डाग वगैरे प्राकृतिक लक्षणविशेषांचा अर्थ लावणे पुष्कळ अवघड झाले आहे. या बाबतीत ज्योति:शास्त्रापुढे अद्याप **कित्येक कूट प्रश्न** पडून आहेत.

गुरूच्या (आणि त्याच्या शेजारच्या शनीच्या) **वातावरणात अमोनिया आणि मेथेन यांचे प्रमाण निश्चितपणे मोठे आहे** असे अलीकडे आढळून आले आहे.*

---

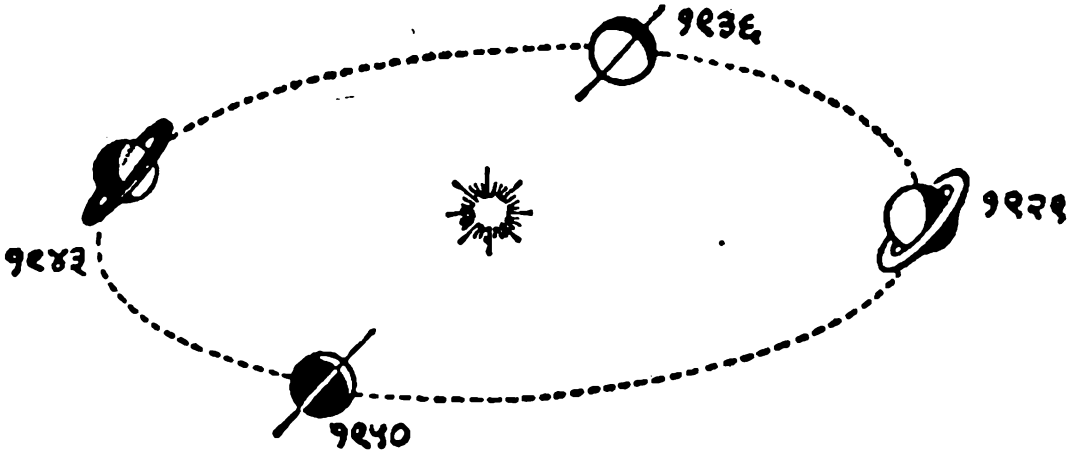
* त्याहून दूर असलेल्या ग्रहांच्या, युरेनसच्या आणि विशेषत: नेपच्यूनच्या, वातावरणात मेथेनचे प्रमाण याहूनही जास्त आहे. शनीचा सर्वांत मोठा उपग्रह जो टायटन त्यावरही मेथेनचे वातावरण असल्याचा १९४४ साली शोध लागला. — **संपादक**

शनीची कडी नाहीशी होतात!

१९२१ साली एक दिवस एका सनसनाटी बातमीने जगाला खडबडून जागे केले. शनी आपली कडी किंवा वलये गमावून बसला होता! बातमी अशी होती की, ह्या वलयांचे तुकडे अवकाशातून सूर्याकडे प्रचंड वेगाने चालले आहेत आणि वाटेत पृथ्वीवर त्यांची वृष्टी होईल; ही अनर्थकारक टक्कर कोणत्या तारखेस होईल हेही देण्यात आले होते...

अफवा कशा उद्भवतात हे या गोष्टीवरून दिसते. या भडक बातमीचे मूळ एवढेच की त्या वर्षी शनीची कडी काही वेळ दिसेनाशी झाली होती, किंवा ज्योतिःशास्त्रीय पंचागात म्हटल्याप्रमाणे 'अदृश्य' झाली होती. ही गोष्ट कर्णोपकर्णी पसरल्यावर तिचा शब्दशः अर्थ लावला जाऊन ही कडी वस्तुतःच नाहीशी किंवा नष्ट झाल्याचे गृहीत धरण्यात आले आणि मग या घटनेस जागतिक अनर्थाच्या तपशिलाची जोड देण्यात आली; यातून मग कड्यांचे तुकडे सूर्यावर जाऊन पडणार आणि वाटेत त्यांची पृथ्वीशी अपरिहार्य टक्कर होणार वगैरे सुरस कल्पना!

शनीची वलये दृष्टिआड होणार ह्या पंचांगामधील साध्या माहितीमुळे केवढा गजहब झाला! पण ही वलये दृष्टिआड कशामुळे होतात? लक्षात असू द्या की ही वलये पातळ आहेत; त्यांची जाडी ३० किलोमीटर आहे व त्यांच्या



आकृती ६२: शनीचा परिभ्रमणकाल २९ वर्षांचा आहे. या काळात शनीच्या कड्यांची किंवा वलयांची सूर्यसापेक्ष स्थिती कशी असते हे वर दाखविले आहे.

रुंदीच्या मानाने ही जाडी म्हणजे कागदाची जाडी म्हणता येईल. यामुळे जेव्हा या वलयांच्या कडा सूर्याकडे वळतात तेव्हा त्यांच्या वरच्या आणि खालच्या

बाजूंवर प्रकाश पडेनासा होतो आणि त्या दिसेनाशा होतात. तसेच त्यांची कडा निरीक्षकाकडे वळलेली असते तेव्हाही त्या दिसत नाहीत.

ही वलये क्रांतिवृत्ताशी किंवा सूर्यमार्गाशी २७° चा कोन करतात. परंतु शनी २९ वर्षांत एक प्रदक्षिणा पूर्ण करतो तेवढ्या काळात ती, दोन परस्परविरुद्ध बिंदूंवर असताना, सूर्य आणि पृथ्वीवरील निरीक्षक दोहोंकडे कडा वळलेल्या स्थितीत येतात. ह्या दोन बिंदूंपासून ९० अंशावरच्या दोन बिंदूंवर शनी असताना हीच वलये सूर्याकडे नि पृथ्वीकडे त्यांचा रुंद भाग वळवितात, किंवा ज्योतिःशास्त्रज्ञ म्हणतात त्याप्रमाणे ती पूर्ण दर्शन देतात.

ज्योतिःशास्त्रीय कोंडी

शनीच्या वलयांचा हा लोप गॅलिलिओच्या पाहण्यात आला होता आणि त्याने तोही बराच बुचकळ्यात पडला होता. ह्या चमत्कारिक विशेषाचे रहस्य उलगडण्यापर्यंत जवळ जवळ त्याने मजल गाठली होती पण ह्या अनाकलनीय लोपाने त्याची मती गुंग झाली. याची गोष्ट थोडी विचित्र आहे. गॅलिलिओच्या काळात कोणी एखाद्या गोष्टीचा प्रथम शोध लावला की त्याचा अग्रमान नमूद करून ठेवण्याची एक आगळीच पद्धत होती. एखाद्या शास्त्रज्ञाने किंवा पंडिताने असा शोध लावला पण त्यासाठी आणखी पुरावा गोळा करण्याची गरज भासली तर दुसऱ्या कोणी त्या शोधावर हक्क सांगू नये म्हणून तो अक्षरव्यत्यासाची (अक्षरांचा क्रम बदलून कोड्याच्या रूपात तो शोध नमूद करणे) योजना करीत असे. तो अगदी थोडक्यात आपल्या शोधाचा सारांश अशा शब्दकूटाच्या रूपात जाहीर करीत असे. त्याचा अर्थ त्याला एकट्यालाच माहीत असे. यानंतर सावकाश आपल्या शोधाची खात्री करून घेण्यास त्या शास्त्रज्ञास वेळ मिळत असे आणि दुसऱ्या कोणी त्या शोधावर हक्क सांगितल्यास स्वतःचा अग्रहक्क प्रस्थापित करणेही शक्य होत असे. आपली मूळ कल्पना अचूक होती अशी खात्री पटताच तो शास्त्रज्ञ ते कोडे उलगडून सांगत असे. शनीच्या बाजूला कसली तरी उपांगे आहेत असे आपल्या दुर्बिणीतून दिसताच गॅलिलिओने घाईघाईने आपला शोध जाहीर केला आणि त्यासाठी ३९ अक्षरांच्या व्यत्यासाचे कोडेच प्रसिद्ध केले!

कोणालाही ही सांकेतिक अक्षररचना उलगडता येईना. अर्थात एखादा मनुष्य त्या ३९ अक्षरांचे शक्य ते सर्व क्रम जुळवून गॅलिलिओचे गुपित उघड करू शकत होता. पण तो केवढा अफाट उद्योग आहे! समाहाराच्या गणिती

सिद्धान्ताशी ज्याचा परिचय आहे त्याला ३९ अक्षरांच्या संभाव्य जुळणीची एकूण संख्या (पुनरावृत्तींसह) सांगता येईल. ही संख्या खालीलप्रमाणे आहे.

$$\frac{३९!}{३!५!४!४!२!२!५!३!३!२!२!}$$

ही संख्या साधारण ३५ आकड्यांची आहे! लक्षात असू द्या की एका वर्षातील सेकंदाची एकूण संख्या ८ आकड्यांची आहे! गॅलिलिओने आपले रहस्य किती काळजीपूर्वक लपवून ठेवले होते हे आता तुम्हाला पटेल.

प्रख्यात ज्योति:शास्त्रज्ञ केप्लर हा गॅलिलिओचा समकालीन होता. आपल्या सुप्रसिद्ध चिकाटीने केप्लरने गॅलिलिओचे गुपित शोधून काढण्यासठी फार श्रम घेतले. अखेर प्रसिद्ध झालेल्या ३९ अक्षरांतून (दोन सोडून) त्याने खालील अर्थाचे लॅटीन वाक्य बनविले व आपले कार्य पूर्ण झाल्याची त्याला खात्री वाटली "मंगळापासून जन्मलेल्या जुळ्या पुत्रांस माझा नमस्कार असो."

मंगळास दोन उपग्रह असावेत अशी केप्लरच्या मनात प्रथमपासून शंका होती आणि तेच गॅलिलिओने शोधून काढले असावेत असे त्याला खात्रीपूर्वक वाटत होते.* (प्रत्यक्षात त्यांचा शोध आणखी २५० वर्षांनंतर लागला.) परंतु या खेपेस केप्लरचे अनुमान चुकले होते. अखेर गॅलिलिओने गौप्यस्फोट केला तेव्हा मूळ वाक्य (दोन अक्षरे सोडून) खालील अर्थाचे असल्याचे आढळले :

"मला एक अतिउंच आणि तिहेरी ग्रह दिसला."

दुर्बीण फार कमजोर असल्यामुळे शनीची ही तिहेरी प्रतिमा म्हणजे काय

---

* ग्रहांच्या उपग्रहांची संख्या ठरावीक श्रेणीत वाटत असावी अशा कल्पनेच्या प्रभावाखाली केप्लरने हा तर्क लढविला असावा असे दिसते. पृथ्वीला एक उपग्रह आहे आणि गुरूला चार आहेत, त्या अर्थी दोहोंमधल्या मंगळास दोन उपग्रह असणे अगदी स्वाभाविक आहे असे त्याला वाटले. ह्याच तर्कक्रमाच्या जोरावर इतरांनीही हा निष्कर्ष काढला होता. व्होल्तेरच्या 'माइक्रोमेगास' (१७५०) ह्या ज्योति:शास्त्रीय नवलकथेतील प्रवासी मंगळाजवळ गेल्यावर त्याला "त्या ग्रहाची सेवा करणारे आणि अद्यापपावेतो आपल्या ज्योति:शास्त्रज्ञांच्या दृष्टीस न पडलेले दोन चंद्र" दिसतात. त्याच्याही अगोदर लिहिण्यात आलेल्या स्विफ्टच्या 'गलिव्हरचे प्रवास' (१७२६) या पुस्तकात असाच उल्लेख आहे; त्यात म्हटले आहे की लापुताच्या ज्योति:शास्त्रज्ञांनी 'मंगळाभोवती भ्रमण करणारे दोन छोटे तारे किंवा उपग्रह' शोधून काढले होते. अखेर १८७७ मध्ये हॉलने असे दोन उपग्रह खरोखरच शोधून काढले आणि ही विलक्षण अनुमाने सत्य ठरली.

असेल हे गॅलिलिओला नीट उमगले नाही. काही वर्षांनंतर शनीची ही उपांगे दिसेनाशी झाली तेव्हा गॅलिलिओला वाटले की स्वत:ची काहीतरी चूक झाली असावी आणि शनी उपांगविरहितच असावा.

या गोष्टीस ५० वर्षे लोटल्यानंतर शनीची वलये शोधून काढण्याचा मान हायगेन्सच्या वाट्याला आला. गॅलिलिओप्रमाणे त्यानेही आपला शोध ताबडतोब प्रसिद्ध न करता आपले अनुमान ६२ अक्षरांच्या कोड्यातच प्रसिद्ध केले. तीन वर्षांनी आपले अनुमान बरोबर असल्याची खात्री झाल्यानंतर हायगेन्सने आपले रहस्य जाहीर केले. त्या कोड्यातील वाक्य पुढीलप्रमाणे होते :

"पातळ, सपाट, कुठेही स्पर्श न करणाऱ्या आणि क्रांतिवृत्ताशी कोन करणाऱ्या वर्तुळाने वेढलेले."

नेपच्यूनच्या पलीकडचा ग्रह

१९२९ साली हे पुस्तक प्रथम प्रसिद्ध झाले तेव्हा त्यात मी लिहिले होते की सूर्यमालेच्या ज्ञात ग्रहांपैकी नेपच्यून हा सर्वात दूरचा ग्रह आहे, त्याचे सूर्यापासूनचे अंतर पृथ्वीहून ३० पट आहे. आता मला तसे म्हणता येत नाही. कारण १९३० साली सूर्यमालेच्या ज्ञात ग्रहात आणखी एकाची भर पडली; हा नववा मोठा ग्रह नेपच्यूनपेक्षाही दूर अंतरावर सूर्याभोवती भ्रमण करीत आहे.

हा शोध म्हणजे अनपेक्षित नवल नव्हते. नेपच्यूनच्याही पलीकडे एखादा अज्ञात ग्रह असावा ही कल्पना ज्योति:शास्त्रज्ञ फार काळ मनात खेळवीत होते. एका शतकापूर्वी युरनेस हाच सूर्यमालेचा दूरतम ग्रह असावा अशी त्यांची समजूत होती. पण युरेनसच्या गतीमधील काही अनियमिततेमुळे, त्याच्या पलीकडे एखादा ग्रह असून त्याचे गुरुत्वाकर्षण युरेनसच्या सरळ वर्तनात काही बिघाड उत्पन्न करीत असावे असा संशय त्यांना आला. ब्रिटिश गणितज्ञ ॲडम्स आणि फ्रेंच ज्योति:शास्त्रज्ञ लेव्हेरियर यांनी ह्या समस्येचे गणिती संशोधन केले आणि त्यातून हा देदीप्यमान शोध लागला. संशयाचा विषय असलेला हा ग्रह दुर्बिणीत दिसला. लेखणीच्या **आकडेमोडीने ज्याचे अस्तित्व प्रथम सिद्ध झाले होते असे एक जग मानवी नेत्रांना पहावयास मिळाले.**

ही झाली नेपच्यूनच्या शोधाची कथा. नंतर असे दिसून आले की युरेनसच्या गतीमधील अनियमिततेचा पूर्ण खुलासा नेपच्यूनच्या प्रभावाने होत नाही. तेव्हा नेपच्यूनच्याही पलीकडे एखादा ग्रह असावा ही कल्पना आली. गणितज्ञ या समस्येवर डोकी खर्च करू लागले. अनेक उत्तरे सुचविण्यात आली. ह्या

अपेक्षित नवम ग्रहाचे अंतर सूर्यापासून काय असावे आणि त्याचे वस्तुमान किती असेल याबद्दल निरनिराळे विचार मांडण्यात आले.

अखेर **१९३० साली** किंवा जास्त अचूक सांगायचे तर १९२९ च्या शेवटास सूर्यमालेच्या सीमेवरील काळ्या अंध:कारातून दुर्बिणीने आपल्या **ग्रहकुलाचा आणखी एक सदस्य** हुडकून काढला. **प्लुटो** असे नामकरण झालेला ग्रह टोम्बॉग ह्या तरुण ज्योति:शास्त्रज्ञाने **शोधून काढला.**

प्लुटोचा भ्रमणमार्ग पूर्वी गणिताने सिद्ध केलेल्या मार्गाच्या अगदी जवळून जातो. परंतु तज्ज्ञांच्या मते याचा गणिती पराक्रम म्हणून गौरव करता येत नाही. हे साम्य केवळ एक विलक्षण योगायोग आहे.

नव्याने सापडलेल्या ज़गाबद्दल आपणास काय माहीत आहे? अद्याप तरी फारच थोडे. तो एवढा दूर आहे आणि सूर्याचा त्यावर पडणारा प्रकाश एवढा अल्प आहे की, अत्यंत सामर्थ्यवान उपकरणे त्याचा व्यास जेमतेम मापू शकली. हा **व्यास** ५९०० किलोमीटर किंवा **पृथ्वीच्या मानाने ०.४७** असल्याचे आढळून आले.

प्लुटोची सूर्याभोवतालची कक्षा बरीच लांबट आहे; तिची केंद्रच्युती ०.२५ आहे. ती क्रांतिवृत्ताशी १७° चा कोन करते, म्हणजे बरीच कललेली आहे. ती पृथ्वीपेक्षा सूर्यापासून ४० पट दूर आहे. प्लुटोला ही प्रचंड फेरी करायला २५० वर्षे लागतात.

प्लुटोच्या आकाशात सूर्याचे तेज आपणाला मिळते त्याहून १६०० पट अंधुक आहे आणि तेथून दिसणारे छोटे सूर्यबिंब ४५ विकलांचे म्हणजे पृथ्वीवरून गुरू दिसतो तेवढे आहे. आपल्याला पौर्णिमेचा चंद्र दिसतो तो अधिक तेजस्वी की प्लुटोवरून दिसणारा सूर्य अधिक तेजस्वी हे ठरविणे मनोरंजक होईल.

दूर पडलेल्या **प्लुटोची स्थिती सूर्यप्रकाशाच्या बाबतीत** प्रथम वाटते तेवढी निश्चित वाईट नाही असे दिसते. पौर्णिमेचे चांदणे सूर्याच्या प्रकाशाहून ४,४०,००० पट निस्तेज असते. प्लुटोच्या आकाशात दिनमणी सूर्य आपल्याला देतो त्याहून १६०० पट कमी प्रकाश देत असतो; त्या अर्थी प्लुटोवर पोचणाऱ्या सूर्यप्रकाशाची तेजस्विता पृथ्वीवर पडणाऱ्या पौर्णिमेच्या चांदण्यांहून $\frac{४,४०,०००}{१६००}$ किंवा २७५ पट अधिक आहे. प्लुटोवर वातावरणाचा पत्ता नाही त्या अर्थी प्लुटोचे आकाश पृथ्वीएवढे स्वच्छ असावयास पाहिजे आणि तसे असल्यास तेथला दिवसाचा उजेड, एकाच वेळी चमकणाऱ्या २७५ पूर्ण चंद्रांच्या एवढा असला

पाहिजे. म्हणून प्लुटोचे अनंत रात्रीचे साम्राज्य म्हणून वर्णन करणे चुकीचे होईल.

खुजे ग्रह

आतापावेतो ज्या ९ ग्रहांचा उल्लेख येऊन गेला तेवढ्याने सूर्यमालेच्या ग्रहांची संख्या पूर्ण होत नाही. ते सर्वात मोठे आहेत एवढेच. त्यांच्याखेरीज निरनिराळ्या अंतरावर सूर्याभोवती भ्रमण करणारे अनेक लहान लहान ग्रह आहेत. ग्रहांच्या दुनियेतील ह्या खुजांना 'लघुग्रह' म्हणतात. त्यांपैकी **सर्वात मोठा** जो **सीरीस** त्याचा **व्यास ७७० कि.मी.** आहे; तो **चंद्राहून पुष्कळच लहान आहे.** साधारण चंद्र पृथ्वीच्या मानाने जेवढा लहान, तेवढा सीरीस चंद्राच्या मानाने लहान आहे.

सीरीस ह्या पहिल्या लघुग्रहाचा शोध १ जानेवारी १८०१ रोजी लागला. त्या १९व्या शतकातच ४०० हून अधिक लघुग्रह सापडले. अलीकडेपर्यंत अशी समजूत होती की मंगळ आणि गुरू यांच्या कक्षांमधील विस्तृत रिकाम्या अवकाशात हे लघुग्रह एकत्र असावेत.

विसाव्या शतकात, विशेषत: अलीकडच्या काही वर्षांत, लघुग्रहाच्या पट्ट्याचा विस्तार दोन्ही बाजूंस बराच वाढत गेला आहे. गेल्या शतकाच्या शेवटास म्हणजे १८८९ मध्ये सापडलेल्या **एरॉस** लघुग्रहानेच ह्या सीमा ओलांडल्या होत्या, कारण त्याची कक्षा बहुतांशी मंगळाच्या कक्षेच्या आतच होती. १९२० साली ज्योति:शास्त्रज्ञांनी **हिडाल्गो** ह्या लघुग्रहाचा शोध लावला; **त्याचा मार्ग गुरूच्या कक्षेला छेदून शनीच्या कक्षेजवळून जातो.** आणखी दोन बाबतीत हिडाल्गोची स्वत:ची खास वैशिष्ट्ये आहेत; **सर्व ज्ञात ग्रहांत हिडाल्गोची कक्षा सर्वात लांबट आहे** (केंद्रच्युती ०.६६) **आणि शिवाय अयनवृत्ताला सर्वात जास्त कललेली आहे.** (विक्षेपमान ४३°).

सहज सांगावयाची गोष्ट म्हणजे ह्या लघुग्रहाचे नाव ठेवले आहे ते मेक्सिकोचा स्वातंत्र्यवीर हिडाल्गो व् कोस्तिला याच्या नावावरून. हिडाल्गोचा वध १८११ मध्ये झाला.

१९३६ साली केंद्रच्युती ०.७८ असलेला लघुग्रह अवलोकनात आला आणि छोट्या ग्रहांचा विस्तार अधिकच व्यापक असल्याचे आढळले. सूर्यमालेच्या ह्या नव्या सदस्याचे नाव ठेवण्यात आले **ॲडॉनिस.** त्याचे वैशिष्ट्य असे की **त्याचा मंदोच्च किंवा अपसूर बिंदू सूर्यापासून गुरूएवढा दूर आहे तर त्याचा**

शीघ्रोच्च किंवा अनुसूर बिंदू थेट बुधाच्या कक्षेच्या जवळपास आहे.

अखेरीस १९४९ साली सापडलेला लघुग्रह **इकारस.** त्याच्या कक्षेची **केंद्रच्युती ०.८३** आहे! त्याचा मंदोच्च बिंदू पृथ्वीकक्षेच्या त्रिज्येच्या दुप्पट अंतरावर आहे आणि शीघ्रोच्च बिंदू सूर्य-पृथ्वी अंतराच्या अंतरावर आहे. **कोणताही ज्ञात ग्रह इकारस इतका सूर्याच्या जवळून जात नाही.**

नव्याने सापडलेल्या लघुग्रहाची नोंद करण्याची पद्धती उल्लेखनीय आहे. ज्योतिःशास्त्राखेरीज इतर क्षेत्रांतही ती यशस्वी रीतीने लागू करता येईल. प्रथम, शोध लावला ते वर्ष नमूद करण्यात येते आणि त्याला जोडून शोध लावला त्या पंधरवड्याचा निर्देश करणारे अक्षर लावण्यात येते. (वर्षाचे २४ पंधरवडे करून प्रत्येकाचा निर्देश इंग्रजी बाराखडीतल्या एकेक अक्षराने अनुक्रमे करण्यात येतो.)

कधी कधी एकाच पंधरवड्यात अनेक लघुग्रह सापडतात, म्हणून त्यांना क्रमानुसार आणखी एक अक्षर जोडण्यात येते. तसे करूनही २४ अक्षरे पुरली नाहीत तर त्यांना अंक जोडण्यात येतात. उदाहरणार्थ, १९३२ इ ए, याचा अर्थ १९३२ सालच्या मार्च महिन्याच्या प्रथमार्धात सापडलेला पंचविसावा लघुग्रह. एकदा ह्या नवशोधित ग्रहाची कक्षा गणिताने सिद्ध झाली की मग त्याला क्रमांक आणि नाव देण्यात येतात.

लघुग्रह संख्येने खूप आहेत पण त्यांपैकी थोडेसेच अद्याप ज्योतिःशास्त्रीय उपकरणांच्या आवाक्यात आले असावेत. गणनेनुसार सूर्यमालेत ४० ते ५० हजार लघुग्रह असले पाहिजेत.

आतापर्यंत नमूद झालेल्या **छोट्या ग्रहांची संख्या १५०० च्या वर** आहे. त्यांपैकी शंभरावर लघुग्रह क्रायमियातील सिमेइझ वेधशाळेच्या ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी शोधून काढले आहेत. याचे श्रेय मुख्यतः त्या वेधशाळेतील एक कार्यतत्पर लघुग्रह-शोधक जी. एन. नेयमिन यांच्या उद्योगशीलतेला आहे. लघुग्रहांच्या यादीत 'व्लाडिलेन', (व्लाडिमिर इलिच लेनिन यांच्या सन्मानार्थ) 'मोरोझोविया' आणि 'फिग्नेरिया' (दोघा रशियन क्रांतिवीरांच्या सन्मानार्थ) अशी नावे आढळल्यास वाचकांस आश्चर्य वाटू नये! शोधलेल्या लघुग्रहाच्या संख्येच्या बाबतीत सिमेइझचे नाव दुनियेतील वेधशाळांत अग्रभागी आहे; तसेच लघुग्रहाबाबतच्या सैद्धान्तिक प्रश्नांचे विश्लेषण करण्यातही सोविएत ज्योतिःशास्त्रज्ञ अग्रभागी आहेत. सैद्धान्तिक-ज्योतिःशास्त्र-संस्था ह्या लेनिनग्राड येथील संस्थेने

अनेक लघुग्रहाचे मार्ग अगोदरपासून आखून ठेवण्याच्या कामी आणि त्यांच्या गतीच्या सिद्धान्ताचे विवरण करण्याच्या कामी अनेक वर्षे अभ्यासात घालविली आहेत. दरवर्षी ही संस्था जगातील वेधशाळांच्या माहितीसाठी लघुग्रहांच्या पूर्व-निश्चित स्थानांचा तक्ता प्रसिद्ध करते.

आकाराच्या बाबतीत लघुग्रहांत फारच वैचित्र्य आढळते. सीरीस किंवा पालास (व्यास ४९० कि.मी.) यांच्याइतके मोठे फारच थोडे. १०० कि.मी. हून अधिक मोठा व्यास असणारे साधारण सत्तर आहेत. बाकी बहुतेकांचा व्यास २० ते ४० कि.मी.च्या दरम्यान आहे. त्याखेरीज मग जेमतेम दोनतीन किलोमीटर व्यासाचे पुष्कळ 'छोटे छोटे' लघुग्रह आहेत. (छोटे छोटे हा शब्द आम्ही अवतरण चिन्हात टाकला आहे. कारण ज्योतिःशास्त्रज्ञाच्या मुखातून आल्यावर त्याचा अर्थ सापेक्ष रीतीनेच घेतला पाहिजे।) अद्याप जरी बहुसंख्य लघुग्रहांचा शोध लावायचा बाकी असला तरी (ज्ञात व अज्ञात सर्व) लघुग्रहांचे एकूण वस्तुमान पृथ्वीच्या एक सहस्रांश असावे असे आपण गृहीत धरू शकतो. जे ग्रह आधुनिक दुर्बिणीच्या आटोक्यातले आहेत त्यांपैकी फक्त पाच टक्क्यांचाच अद्याप शोध लागला असावा असा अंदाज आहे.

जी. एन. नेयमिन ह्या अग्रगण्य लघुग्रह-तज्ज्ञाने लिहिले आहे, "लघुग्रहांचे **प्राकृतिक गुणधर्म** साधारण सारखे असावेत असे वाटेल. प्रत्यक्षात त्यांच्यामध्ये **विस्मयजनक वैविध्य** आढळून येते. पहिल्या चार लघुग्रहांचे प्रकाश-परावर्तनाचे गुणधर्म ठरविण्यात आले तेव्हा आढळले की सीरीस आणि पालास हे पृथ्वीवरील काळसर खडकांप्रमाणे प्रकाश परावर्तित करतात; जुनो उजळ खडकाप्रमाणे आणि वेस्ता पांढऱ्या ढगाप्रमाणे. ते आकाराने लहान असल्यामुळे त्यांच्यावर वातावरण असण्याचा संभव नाही व यामुळे वरील वैविध्य अधिकच बुचकाळ्यात टाकणारे आहे ही गोष्ट निश्चित सिद्ध झाली आहे आणि म्हणून त्यांच्या परावर्तन गुणातले वैविध्य त्यांच्या पृष्ठभागावरील द्रव्यांच्या वैविध्याचाच परिणाम असावा असा निष्कर्ष काढणे भाग आहे."

काही लघुग्रहांची तेजस्विता कमीजास्त होताना दिसते; हा अक्षभ्रमणाचा आणि अनियमित आकाराचा पुरावा आहे.

आपले निकटतम शेजारी

वर **ॲडॉनिस** नामक लघुग्रहाचा उल्लेख आला आहे. त्याची कक्षा धूमकेतूच्या कक्षेप्रमाणे अतिशय लांबट आहे एवढेच त्याचे वैशिष्ट्य नाही; त्याचे **आणखी**

अनेक लघुग्रहाचे मार्ग अगोदरपासून आखून ठेवण्याच्या कामी आणि त्यांच्या गतीच्या सिद्धान्ताचे विवरण करण्याच्या कामी अनेक वर्षे अभ्यासात घालविली आहेत. दरवर्षी ही संस्था जगातील वेधशाळांच्या माहितीसाठी लघुग्रहांच्या पूर्व-निश्चित स्थानांचा तक्ता प्रसिद्ध करते.

आकाराच्या बाबतीत लघुग्रहांत फारच वैचित्र्य आढळते. सीरीस किंवा पालास (व्यास ४९० कि.मी.) यांच्याइतके मोठे फारच थोडे. १०० कि.मी. हून अधिक मोठा व्यास असणारे साधारण सत्तर आहेत. बाकी बहुतेकांचा व्यास २० ते ४० कि.मी.च्या दरम्यान आहे. त्याखेरीज मग जेमतेम दोनतीन किलोमीटर व्यासाचे पुष्कळ 'छोटे छोटे' लघुग्रह आहेत. (छोटे छोटे हा शब्द आम्ही अवतरण चिन्हात टाकला आहे. कारण ज्योतिःशास्त्रज्ञाच्या मुखातून आल्यावर त्याचा अर्थ सापेक्ष रीतीनेच घेतला पाहिजे!) अद्याप जरी बहुसंख्य लघुग्रहांचा शोध लावायचा बाकी असला तरी (ज्ञात व अज्ञात सर्व) लघुग्रहांचे एकूण वस्तुमान पृथ्वीच्या एक सहस्रांश असावे असे आपण गृहीत धरू शकतो. जे ग्रह आधुनिक दुर्बिणीच्या आटोक्यातले आहेत त्यांपैकी फक्त पाच टक्क्यांचाच अद्याप शोध लागला असावा असा अंदाज आहे.

जी. एन. नेयमिन ह्या अग्रगण्य लघुग्रह-तज्ज्ञाने लिहिले आहे, "लघुग्रहांचे **प्राकृतिक गुणधर्म** साधारण सारखे असावेत असे वाटेल. प्रत्यक्षात त्यांच्यामध्ये **विस्मयजनक वैविध्य** आढळून येते. पहिल्या चार लघुग्रहांचे प्रकाश-परावर्तनाचे गुणधर्म ठरविण्यात आले तेव्हा आढळले की सीरीस आणि पालास हे पृथ्वीवरील काळसर खडकांप्रमाणे प्रकाश परावर्तित करतात; जुनो उजळ खडकाप्रमाणे आणि वेस्ता पांढऱ्या ढगाप्रमाणे. ते आकाराने लहान असल्यामुळे त्यांच्यावर वातावरण असण्याचा संभव नाही व यामुळे वरील वैविध्य अधिकच बुचकाळ्यात टाकणारे आहे ही गोष्ट निश्चित सिद्ध झाली आहे आणि म्हणून त्यांच्या परावर्तन गुणातले वैविध्य त्यांच्या पृष्ठभागावरील द्रव्यांच्या वैविध्याचाच परिणाम असावा असा निष्कर्ष काढणे भाग आहे."

काही लघुग्रहांची तेजस्विता कमीजास्त होताना दिसते; हा अक्षभ्रमणाचा आणि अनियमित आकाराचा पुरावा आहे.

आपले निकटतम शेजारी

वर **ॲडॉनिस** नामक लघुग्रहाचा उल्लेख आला आहे. त्याची कक्षा धूमकेतूच्या कक्षेप्रमाणे अतिशय लांबट आहे एवढेच त्याचे वैशिष्ट्य नाही; त्याचे **आणखी**

एक वैशिष्ट्य म्हणजे तो पृथ्वीच्या बराच जवळ येतो. त्याचा शोध लागला त्यावर्षी ॲडॉनिस पृथ्वीपासून फक्त १५,००,००० किलोमीटर दूर होता. चंद्र त्याहूनही जवळ आहे हे खरे. परंतु चंद्र लघुग्रहांहून पुष्कळ मोठा असला तरी त्याचा दर्जा खालचा आहे; तो स्वतंत्र ग्रह नसून उपग्रह आहे. पृथ्वीचा निकटतम शेजारी म्हणून हक्क सांगू शकणारा आणखी एक लघुग्रह **अपोलो** नावाचा आहे. त्याचा शोध लागला त्या वर्षी तो पृथ्वीपासून फक्त ३०,००,००० कि. मी. दूर होता. ग्रहाच्या मानाने हे विशेष मोठे अंतर नव्हे, कारण मंगळ सर्वात जवळ येतो तेव्हादेखील तो ५,५०,००,००० कि. मी. दूर असतो तर शुक्र ४,००,००,००० कि. मी. पेक्षा कमी अंतरावर कधीच येत नसतो. आश्चर्याची गोष्ट अशी की **हाच लघुग्रह शुक्राकडे याहून जवळ जातो;** शुक्रापासून अवघ्या २,००,००० कि. मी. अंतरावर तो पोचतो! पृथ्वी व चंद्र यामधले अंतरदेखील याच्या दुप्पट आहे! आतापर्यंतच्या ज्ञानाप्रमाणे **सूर्यमालेत याहून जवळचे नाते कोणत्याही दोन ग्रहांत नाही.**

याच ग्रहाचा आणखी एक विशेष म्हणजे आतापर्यंत माहीत झालेल्या लघुग्रहातील सर्वात लहान लघुग्रहांपैकी तो एक आहे. त्याचा व्यास २ कि. मी. पेक्षा निश्चितच जास्त नाही आणि कदाचित त्याहूनही कमी असेल. १९३७ साली हर्मीस नावाच्या लघुग्रहाचा शोध लागला. तो कधी कधी पृथ्वीपासून चंद्राएवढ्या अंतरावर (५,००,००० कि. मी.) येतो; त्याचा व्यास १ कि. मी. हून जास्त नाही.

हाच लघुग्रह उदाहरणादाखल घेऊन आपण 'चिमुकला' ह्या शब्दाच्या ज्योतिःशास्त्रीय अर्थाचा अधिक मागोवा घेऊन पाहू. ह्या चिमुकल्या लघुग्रहाचे घनफळ $०.५३^{३}$ कि. मी. म्हणजे ५२,००,००,००० घन मीटर होईल आणि तो जर ग्रेनाईट खडकाचा असेल तर त्याचे वजन १५०,००,००,००० टन होईल. एवढा ग्रेनाईट मिळाल्यास इजिप्तमधील खॉप्ससारखे ३०० पिरामिड बांधता येतील.

ज्योतिःशास्त्रज्ञ 'चिमुकला' शब्द वापरतात तेव्हा त्याचा अर्थ काय असतो ते यावरून तुमच्या लक्षात आले असेल.

गुरूचे सहप्रवासी

आतापर्यंत माहीत झालेल्या १६०० लघुग्रहांपैकी पंधरांना (होमरच्या इलियड काव्यामधील) ट्रोजन युद्धांतील वीरांची नावे दिलेली आहेत —

अकिलीस, पात्रोक्लस, हेक्टर, नेस्टर, प्रायामस, आगामेन्मन् इत्यादी. या पंधराजणांची गती मोठी विचित्र आहे. या **'ट्रोजन'** वीरांपैकी प्रत्येकजण सूर्याभोवती अशा तऱ्हेने फिरत असतो, की कोणत्याही स्थितीत, **सूर्य, गुरू आणि तो लघुग्रह तिघे समभुज त्रिकोणाच्या शिरोबिंदूवरच असतात.** या 'ट्रोजन' लघुग्रहांना गुरूचे सहप्रवासी म्हणता येईल. ते गुरूपासून बऱ्याच अंतरावर पण त्याच्याबरोबरच फिरत असतात; त्यातले काही गुरूपासून ६० अंशाएवढे पुढे आहेत, काही तेवढेच मागे आहेत. पण सर्वांचा सूर्यप्रदक्षिणा करण्याचा काल मात्र एकच आहे.

या ग्रहीय त्रिकोणाचा समतोल स्थिर असतो; जर लघुग्रह आपल्या विवक्षित स्थानापासून पळाला तर गुरुत्वाकर्षण त्याला पुन्हा जागेवर ओढून आणील.

परस्परांस आकर्षिणाऱ्या तीन गोलांमध्ये असा गतिमान समतोल असू शकेल असे भाकीत, ट्रोजन्सचा शोध लागण्याच्या पुष्कळ पूर्वी, **लाग्रेंज** ह्या फ्रेंच गणितज्ञाने शुद्ध सैद्धान्तिक संशोधनाच्या आधारे केले होते. एक विचित्र गणिती समस्या म्हणून लाग्रेंजने या गोष्टीचा विचार केला होता आणि अशा प्रकारचा संबंध प्रत्यक्ष विश्वात कुठेही सापडू शकेल ही कल्पना त्याने त्याज्य ठरविली होती. परंतु लघुग्रह शोधून काढण्याचा जो चिकाटीचा यत्न झाला त्याच्या परिणामी लाग्रेंजच्या कल्पितार्थाचे प्रत्यक्ष उदाहरण आपल्या स्वतःच्या ग्रहमालेतच सापडले. दुय्यम म्हणून माहीत झालेल्या त्या खस्थ गोलांचा काळजीपूर्वक अभ्यास करणे कसे महत्त्वाचे आहे याचा हा ठसठशीत पुरावा आहे.

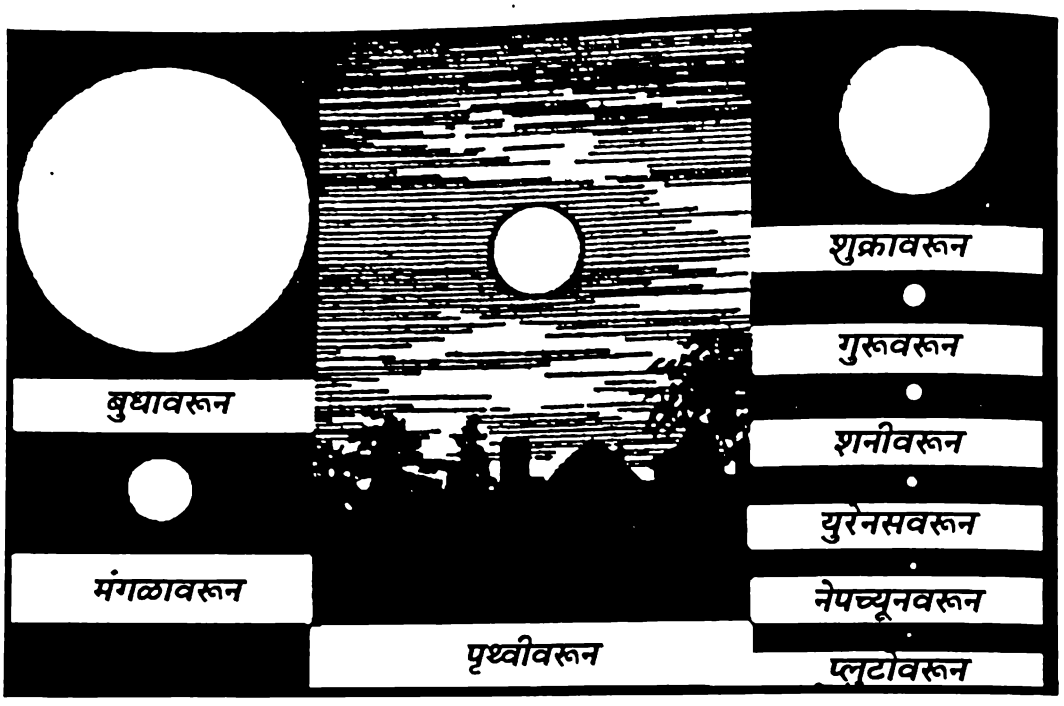
परक्या आकाशात

यापूर्वी आपण चंद्राप्रत काल्पनिक उड्डाण करून तेथून पृथ्वी व इतर आकाशस्थ तेजे कशी दिसतात हे पाहण्याचा उद्योग केलेलाच आहे.

आता आपण सूर्यकुलातील इतर ग्रहांस भेट देऊ आणि प्रत्येकावरून खगोलाचे चित्र कसे दिसते ते पाहू.

आपण **शुक्रापासून** सुरुवात करू. तेथले वातावरण पुरेसे पारदर्शक असेल तर आपल्या आकाशात दिसणाऱ्या सूर्याहून दुप्पट आकाराचा सूर्य तेथे तळपताना आढळेल. (आकृती ६३). म्हणजे सूर्य **शुक्राला पृथ्वीपेक्षा दुप्पट उष्णता आणि प्रकाश** देत असतो. रात्रीच्या वेळी शुक्राच्या आकाशात एक अत्यंत तेजस्वी तारा आपणास दिसेल. तो तारा म्हणजे आपली पृथ्वीच. दोन्ही ग्रह

आकाराने जवळ जवळ सारखेच असले तरी आपल्या आकाशातील शुक्रापेक्षा **शुक्राच्या आकाशातील पृथ्वी कितीतरी जास्त तेजस्वी दिसते.** याचे कारण साधे आहे. पृथ्वीपेक्षा शुक्र सूर्याच्या जास्त जवळ आहे. यामुळे जेव्हा तो



आकृती ६३ : पृथ्वी व अन्य ग्रह यावरून दिसणाऱ्या सूर्यबिंबाचे दर्शनीय आकार

पृथ्वीच्या जास्त जवळ येतो, तेव्हा आपल्याला त्याचे दर्शन घडत नाही; कारण त्याची अंधारी बाजू आपल्याकडे वळलेली असते. तो थोडासा बाजूला जातो तेव्हाच त्याचे दर्शन घडते, पण त्या वेळी शुक्राची बारीक कोर, त्याच्या बिंबाचा लहानसा भाग तेवढा दिसतो, तेवढ्याच भागावरचा प्रकाश आपल्याकडे येत असतो. उलट पृथ्वी शुक्राच्या अगदी जवळ असते, तेव्हा शुक्राच्या आकाशात तिचे पूर्ण बिंब तळपताना दिसते; आपल्या आकाशात षड्भांतरावेळी मंगळ दिसतो ना, अगदी तसेच. परिणामी, आपल्या आकाशात शुक्र त्याच्या तेजस्वीतम अवस्थेत जेवढा तेजस्वी दिसतो त्याहून **शुक्राच्या आकाशातील पृथ्वीचे पूर्ण बिंब सहापट तेजस्वी दिसत असेल.** अर्थात आपल्या ह्या शेजाऱ्यांचे आकाश पुरेसे स्वच्छ असेल तर असे असणार. परंतु शुक्राचा चंदेरी-राखाडी रंग. त्यावर रात्री पडणाऱ्या शुभ्र 'पार्थिव चांदण्याचा'च परिणाम आहे अशी आपण कल्पना केली तर ती मात्र चूक होईल. ३५ मीटर दूर ठेवलेल्या साध्या मेणबत्तीचा जेवढा प्रकाश पडतो, साधारण तेवढाच पृथ्वीचा शुक्रावर पडतो. अर्थात शुक्राला रुपेरी रंग द्यायला तो प्रकाश पुरेसा नाही.

शुक्राच्या आकाशातील 'पृथ्वीच्या प्रकाशा'ला पुष्कळ वेळा चंद्राच्या प्रकाशाचीही जोड मिळते. शुक्रावरून चंद्र व्याधाच्या ताऱ्याहून चौपट तेजस्वी दिसतो. **शुक्राच्या आकाशास शोभा आणणाऱ्या पृथ्वी-चंद्र तेजोद्वयाएवढे तेजस्वी दृश्य साऱ्या सूर्यमालेत कुठे सापडेल की नाही याची शंकाच आहे.** शुक्रावरच्या निरीक्षकाला बहुतेक वेळ पृथ्वी आणि चंद्र अलग अलग दिसतील आणि दुर्बिणीतून त्याला चंद्रभूमीचा तपशीलही पाहता येईल.

शुक्राच्या आकाशातला दुसरा तेजस्वी ग्रह म्हणजे बुध; तो तेथे सकाळी आणि सायंकाळी दिसतो. तसे पाहिले तर पृथ्वीवरून बुध दिसतो तोही तेजस्वी तारा म्हणून. व्याधाहूनदेखील तो अधिक तेजस्वी असतो. पण पृथ्वीवरच्या आकाशात तो दिसतो त्याहून जवळ जवळ तिप्पट तेजाने तो शुक्रावरील आकाशात तळपत असतो. याउलट मात्र शुक्राला $\frac{१}{६}$ च प्रकाश देतो आणि तेथून तो आपल्याकडील गुरूपेक्षा थोडासा निस्तेजच दिसतो.

स्थिर ताऱ्यांच्या बाबतीत सांगायचे म्हणजे सर्व तारका-संस्थानांच्या आकृत्या सूर्यमालेतील सर्व ग्रहांवरून तंतोतंत सारख्याच दिसतात. बुध, गुरू, शनी, नेपच्यून, प्लुटो, कुठेही जा, ताऱ्यांचे नक्षीकाम सारखेच. ग्रहातील अंतराच्या मानाने तारे किती दूर आहेत हे यावरून दिसते.

★ ★

आता शुक्राची रजा घेऊन आपण **बुधावर** जाऊ; ह्या विलक्षण जगात वातावरण तर नाहीच, पण दिवस-रात्रीचे चक्रही नाही. **सूर्य तेथल्या आकाशात अचल उभा आहे** आणि पृथ्वीवरून दिसतो त्याहून तेथे **त्याचा गोळा (विस्ताराने) सहापट मोठा दिसत आहे.** (आकृती ६३). आपल्या आकाशातील शुक्राहून दुप्पट तेजाने आपली पृथ्वी बुधाच्या आकाशात तळपत आहे, शुक्रदेखील येथे अतिशय देदीप्यमान दिसत आहे. खरे म्हणजे **बुधाच्या काळ्या निरभ्र आकाशात शुक्र ज्या डोळे दिपविणाऱ्या तेजाने चमकत असतो तेवढ्या तेजाने कोणताही ग्रह वा तारा सूर्यमालेत कुठेही तळपताना दिसत नाही.**

आपले पुढचे उतरण्याचे ठिकाण **मंगळ. येथून दिसणारा सूर्याचा गोळा आकारात $\frac{२}{३}$ ने कमी** झाला आहे. (आकृती ६३). मंगळाच्या आकाशात आपला स्वत:चा ग्रह सकाळी व संध्याकाळी दर्शन देतो. आपल्या आकाशातील शुक्राचीच तो जागा घेतो म्हणाना. पण त्याहून तो जास्त अंधुक दिसतो, आपल्याकडे गुरू दिसतो तसा. मंगळावरून पृथ्वीचे पूर्ण बिंब कधी दिसत

नाही, मंगळावरच्या माणसाला एकावेळी तिच्या बिंबाचेच दर्शन घडू शकेल, अधिक नाही. चंद्र हा व्याधाइतकाच तेजस्वी तारा म्हणून नुसत्या डोळ्यांनी तो पाहू शकेल. दुर्बिणीतून पाहिल्यास पृथ्वी चंद्र दोहोच्या कला त्याच्या दृष्टीस पडतील.

या ठिकाणी लक्ष खिळून राहील ते मंगळाच्या निकटतम उपग्रहावर, फोबोसवर. त्याचा आकार अगदी चिमुकला असला (त्याचा व्यास फक्त १६ किलोमीटर आहे.) तरी मंगळापासून तो एवढा जवळ आहे की 'पौर्णिमेचा फोबोस' तेथे आपल्याकडील शुक्रापेक्षा २५ पट तेजाने तळपत असेल. दुसरा उपग्रह डैमोस त्याहून पुष्कळ कमी तेजस्वी असला तरी पृथ्वीपेक्षा जास्त तेजस्वी दिसेल. लहान असूनही फोबोस मंगळाच्या एवढा जवळ आहे की त्याची क्षयवृद्धी तेथून स्पष्ट दिसते. चांगली दृष्टी असणारा कोणीही माणूस त्याच्या कला बहुधा ओळखू शकेल. (मंगळावरून डैमोसचे बिंब दिसते ते १ कलेचा कोन करून, फोबोसचे ६ कलांचा कोन करून.)

आणखी पुढे जाण्यापूर्वी आपण क्षणभर **मंगळाच्या निकटतम उपग्रहावर** थांबूया. **या मोक्याच्या जागेवरून आपल्याला एका अजस्र बिंबाचा अद्वितीय देखावा दिसेल,** त्याच्या कला झपाट्याने बदलत असतील आणि तो आपल्या चंद्राहून कित्येक सहस्र पटीने अधिक तेजस्वी भासेल. **हा मंगळ होय.** त्याचे बिंब तेथल्या आकाशात ४१ अंशाचा कोन भरून काढते, म्हणजे आपल्या आकाशातील चंद्रापेक्षा ८० पट मोठे असते. केवळ गुरूच्या निकटतम उपग्रहावरूनच यासारखे असाधारण परंतु उल्लेखनीय दृश्य दिसू शकेल.

★★

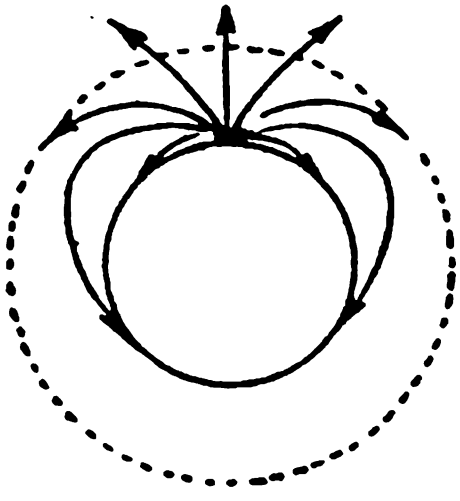
आपले पुढचे विरामस्थळ म्हणजे आताच ज्याचा निर्देश झाला तो राक्षसी ग्रह गुरू. **गुरूचे** आकाश स्वच्छ असेल तर त्यातला सूर्य आकाराने आपल्या इकडल्यापेक्षा २५व्या हिश्श्याचा लहान गोळा म्हणून दिसेल. (आकृती ६३); तेवढाच तो कमी तेजस्वी असेल. दिवस अवघ्या पाच तासांचा असल्याने लवकरच रात्र पडते, तेव्हा आपण तारकामय आकाशात आपल्या परिचयाचे ग्रह शोधूया. ते सापडतील निःसंशय पण किती बदललेल्या स्वरूपात! बुध तर सूर्याच्या किरणात पार बुडून गेला आहे; शुक्र आणि पृथ्वी केवळ दुर्बिणीतून पाहता येतात, तेही संधिकाली कारण ते सूर्याबरोबरच मावळतात.* मंगळ

* गुरूच्या आकाशात पृथ्वी ८ व्या प्रतीच्या ताऱ्यासारखी दिसते.

जेमतेम दिसतो. उलट शनी मात्र तेजाच्या बाबतीत व्याधाला मागे टाकतो.

गुरूच्या आकाशात मानाचे स्थान त्याच्या उपग्रहांचे आहे. उपग्रह १ व २ शुक्राच्या आकाशातील पृथ्वीएवढे चकाकत असतात. उपग्रह ३ हा तर त्याहून तिप्पट तेजस्वी आहे आणि उपग्रह ४ व ५ व्याधापेक्षा कित्येकपट तेजस्वी आहेत. आकाराबाबत सांगायचे तर पहिल्या चार उपग्रहांचे दृश्य व्यास सूर्याच्या दृश्य व्यासाहून अधिक मोठे आहेत. **प्रत्येक** परिभ्रमणात पहिले तीन उपग्रह गुरूच्या छायेत लुप्त होतात व म्हणून त्यांचे पूर्ण बिंब गुरूवरून कधीच दिसत नाही. खग्रास सूर्यग्रहणेसुद्धा दृष्टीस पडतात, पण गुरूच्या पृष्ठभागावरच्या एका अरुंद पट्ट्यातच त्यांचे दर्शन घडू शकते.

पण गुरूचे वातावरण पृथ्वीच्या वातावरणाएवढे पारदर्शक असण्याचा संभव फारच कमी; ते फारच उंच आणि घन आहे. ह्या विशेष घनतेमुळे प्रकाशाच्या वक्रीभवनाशी संबंधित असे बरेच विलक्षण आभास निर्माण होण्याची शक्यता आहे. पृथ्वीवर असे वातावरणजन्य वक्रीभवन अत्यल्प घडते आणि त्यामुळे स्वस्थ तेजांची (भासमान) उंची अधिक दिसते एवढेच. उलट **गुरूचे अत्युच्च आणि घन वातावरण कितीतरी अधिक ठळक असे दृश्यात्मक आभास निर्माण होण्यास पोषक आहे.** गुरूच्या पृष्ठभागावरील एका बिंदूवरून तिरकस निघणारे किरण (आकृती ६४) वातावरण भेदून बाहेर जातच नाहीत. पृथ्वीच्या वातावरणात रेडियोलहरी जशा वाकून परत भूपृष्ठाकडे येतात, त्याप्रमाणे असे किरण वळून परत गुरुपृष्ठाकडे येतात. त्या ठिकाणच्या निरीक्षकास अगदी **विलक्षण दृश्य** दिसेल. **आपण जणू एका प्रचंड पेल्याच्या तळाला आहोत अशी त्याची कल्पना होईल. त्या प्रचंड ग्रहाचा जवळ जवळ सर्व पृष्ठभाग त्या पेल्यात सामावलेला असेल** आणि कडेजवळची रूपरेषा बरीच चेपलेली असेल. वर आकाशात आपल्या इकडच्याप्रमाणे खगोलाचा निम्मा भागच नव्हे, जवळ जवळ सर्वच खगोल डोक्यावर दिसेल! फक्त



आकृती ६४ : गुरूच्या वातावरणात प्रकाश बहुधा कसा वाकत असावा. (ह्या चमत्काराचे परिणाम काय होत असावेत यासाठी पाठ पहा).

पेल्याच्या कडेस तो पुसट आणि धूसर होत जाईल. **ह्या विलक्षण आकाशातून दिनराजाचे प्रयाण कधीच होणार नाही** आणि त्यामुळे मध्यरात्रीचा सूर्य ग्रहावर सर्वच ठिकाणी दिसत राहील! गुरूवर असे चमत्कार खरोखरीच घडतात की नाही हे अर्थात आपण खात्रीपूर्वक सांगू शकत नाही.

गुरूच्या निकटतम उपग्रहावरून होणारे त्याचे निकटदर्शन विस्मयजनक असेल. (आकृती ६५). क्र. ५ च्या ह्या निकटतम उपग्रहावरून दिसणाऱ्या अजस्र गुरुबिंबाचा व्यास आपल्या चंद्राहून ९० पट मोठा असेल * आणि

आकृती ६५ : उपग्रह ५ वरून दिसणारा गुरू

त्याची तेजस्विता सूर्याहून केवळ सहा-सात पट कमी असेल. ह्या बिंबाचा खालचा भाग क्षितिजाला स्पर्श करील तेव्हा त्याची वरची कडा आकाशाच्या $\frac{१}{८}$ मध्यभागी असेल आणि जेव्हा ते क्षितिजाखाली जाईल तेव्हा ते क्षितिजरेषेचा भाग व्यापून टाकील. मधून मधून गुरूच्या चंद्राच्या काळ्या गोलाकार छाया त्याच्या जलद गरगरा फिरणाऱ्या बिंबावरून सरकत जातील; अर्थात ह्या प्रचंड ग्रहास ग्रहण लावायला त्या असमर्थ आहेत.

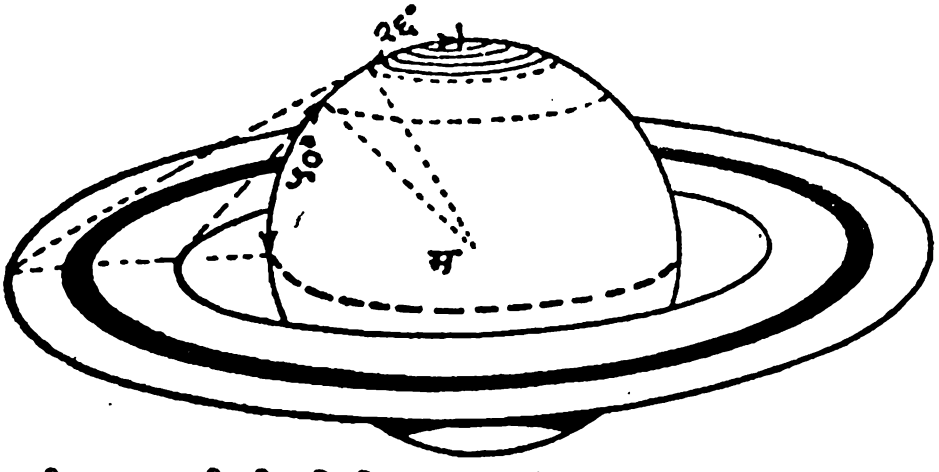
★ ★

आता शनीची ती प्रसिद्ध कडी किंवा वलये निरीक्षकाला कशी दिसत असतील एवढेच पाहण्यापुरती **शनीला** आपण भेट देऊ. आपल्याला पहिली

---

* या उपग्रहावरून दिसणाऱ्या शुक्रबिंबाचा कोनिक व्यास ४४° हून अधिक आहे.

गोष्ट आढळते ती ही की **ही वलये शनीवर सर्वत्रच दिसतात असे नाही.** उदाहरणार्थ, शनीचे ध्रुव आणि ६४वी अक्षांशरेषा या दरम्यानच्या प्रदेशात ही वलये अजिबात दिसणार नाहीत. ह्या प्रदेशाच्या सीमेवर बाहेरच्या वलयाची बाहेरची कडा तेवढी आपणाला दिसेल. (आकृती ६६). ६४ व्या आणि ५० व्या अक्षांशावर सर्वच वलये आपल्याला न्याहाळता येतील; तेथे ती सर्वात



आकृती ६६ : शनीवरील निरनिराळ्या स्थळांवरून त्याच्या वलयांचे दर्शन कितपत घडत असेल हे दाखविणारी आकृती. ६४ वे अक्षांशवृत्त आणि ध्रुव्र या दरम्यानच्या प्रदेशात ही वलये मुळीच दिसत नाहीत.

मोठा म्हणजे १२° चा कोन करतात. विषुववृत्तानजीक जसजसे जावे तसतशी ती अधिकाधिक अरुंद बनतात परंतु त्याचबरोबर ती आकाशात अधिकाधिक उंच दिसतात. थेट विषुववृत्तावर वलयांची बारीक पट्टी खस्वस्तिकांतून पूर्वपश्चिम दिशेने गेलेली दिसते.

परंतु तेवढ्याने हे चित्र पूर्ण होत नाही. लक्षात ठेवा की वलयांची एकच बाजू प्रकाशित असते, दुसरी अंधारात असते. उजळ बाजू जिकडे वळलेली असेल त्या शनी-गोलार्धातच ती दिसते. शनीच्या प्रदीर्घ वर्षांच्या अर्ध्या काळात वलये एका गोलार्धातून दिसतात (बाकीच्या अर्ध्या वर्षात ती दुसऱ्या गोलार्धातून दिसतात.) आणि तीसुद्धा मुख्यतः दिवसा. रात्री ती थोडा वेळ दिसू शकतात पण तेवढ्यातही पुष्कळ वेळा शनीच्या छायेत ती लुप्त होतात. अखेर आणखी एक विचित्र तपशील नमूद करा. शनीचा विषुववृत्तीय भाग ह्या वलयांनी काही काळ झाकला जातो, काही काळ म्हणजे आपली कित्येक पार्थिव वर्षे!

आकाशीय दृश्यांमध्ये सर्वात भव्य दृश्य जर कोणते असेल तरे ते म्हणजे **शनीच्या निकटतम उपग्रहावरून दिसणारे दृश्य.** विशेषतः शनीला कला लागून त्याची कोर तेवढी दिसत असेल तेव्हाचे दृश्य फारच रमणीय असेल.

त्या वेळी शनीच्या वलयांकित कोरीचे जे दर्शन घडेल तसे ग्रहमालेत इतरत्र कुठेही दिसणार नाही. वलयांच्या बारीक पट्टीच्या वेष्टनाने छेदलेली प्रचंड कोर आणि त्याभोवती त्याहून पुष्कळ लहान अशा शनिचंद्राच्या कोरींचा थवा, असा तो देखावा असेल.

★★

इतर ग्रहांच्या आकाशात दिसणाऱ्या वेगवेगळ्या ग्रहगोलांच्या तेजस्वितेचा क्रम उतरत्या श्रेणीमध्ये खालील कोष्टकात दिला आहे.

१. बुधावरून शुक्र
२. शुक्रावरून पृथ्वी
३. बुधावरून पृथ्वी
४. पृथ्वीवरून शुक्र
५. मंगळावरून शुक्र
६. मंगळावरून गुरू
७. पृथ्वीवरून मंगळ
८. शुक्रावरून बुध
९. मंगळावरून पृथ्वी
१०. पृथ्वीवरून गुरू
११. शुक्रावरून गुरू
१२. बुधावरून गुरू
१३. गुरूवरून शनी

यामध्ये पृथ्वीवरून घडणाऱ्या ग्रहदर्शनांवर, क्र. ४,७,१० यांवर वेगळा भर आपण दिला आहे कारण त्यांची तेजस्विता आपल्या परिचयाची असल्याकारणाने इतर ग्रहांवरून दिसणाऱ्या ग्रहांच्या तेजस्वितेचा अंदाज करण्यास त्यांचा मार्गदर्शक म्हणून आपण उपयोग करू शकू. सूर्यासमीपच्या ग्रहगोलांमध्ये तेजस्वितेच्या बाबतीत आपल्या स्वत:च्या ग्रहाचे स्थान कसे अग्रभागी आहे हे यावरून विशेष स्पष्ट होईल. बुधाच्या आकाशातसुद्धा पृथ्वी आपल्या आकाशातील गुरू-शुक्राहून अधिक तेजस्वी दिसते.

'ग्रहांच्या नाक्षत्रिक प्रती' ह्या भागात (प्रकरण ४ थे) आपण पुन्हा पृथ्वी आणि इतर ग्रह यांच्या परिमाणात्मक तेजस्वितेचे अधिक यथार्थ मोजमाप करण्याचा प्रश्न हाताळणार आहोत.

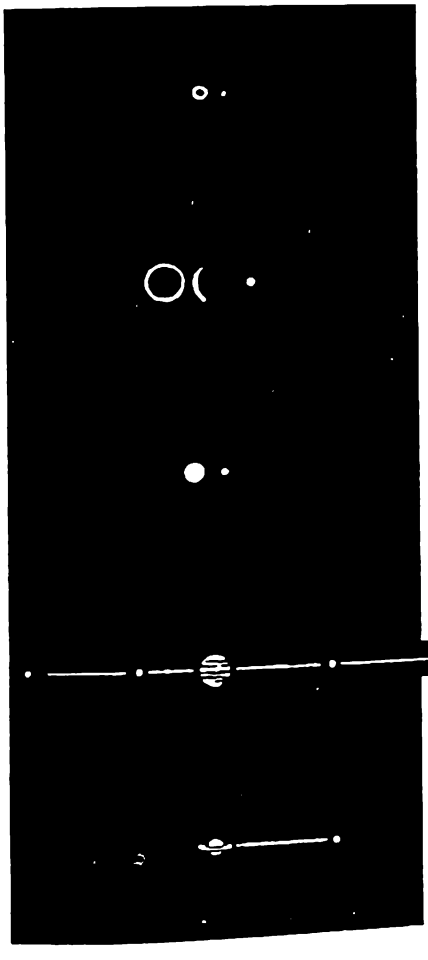
शेवटी सूर्यमालेसंबंधी काही आकडे दिले आहेत; गरज पडल्यास माहितीसाठी त्यांचा उपयोग होऊ शकेल.

सूर्य : व्यास : १३,९०,६०० कि. मी.; घनफळ : पृथ्वीच्या १३,०१,२०० पट; वस्तुमान : पृथ्वीच्या ३,३३,४३४ पट आणि घनता : पाण्याच्या घनतेच्या १.४१ पट.

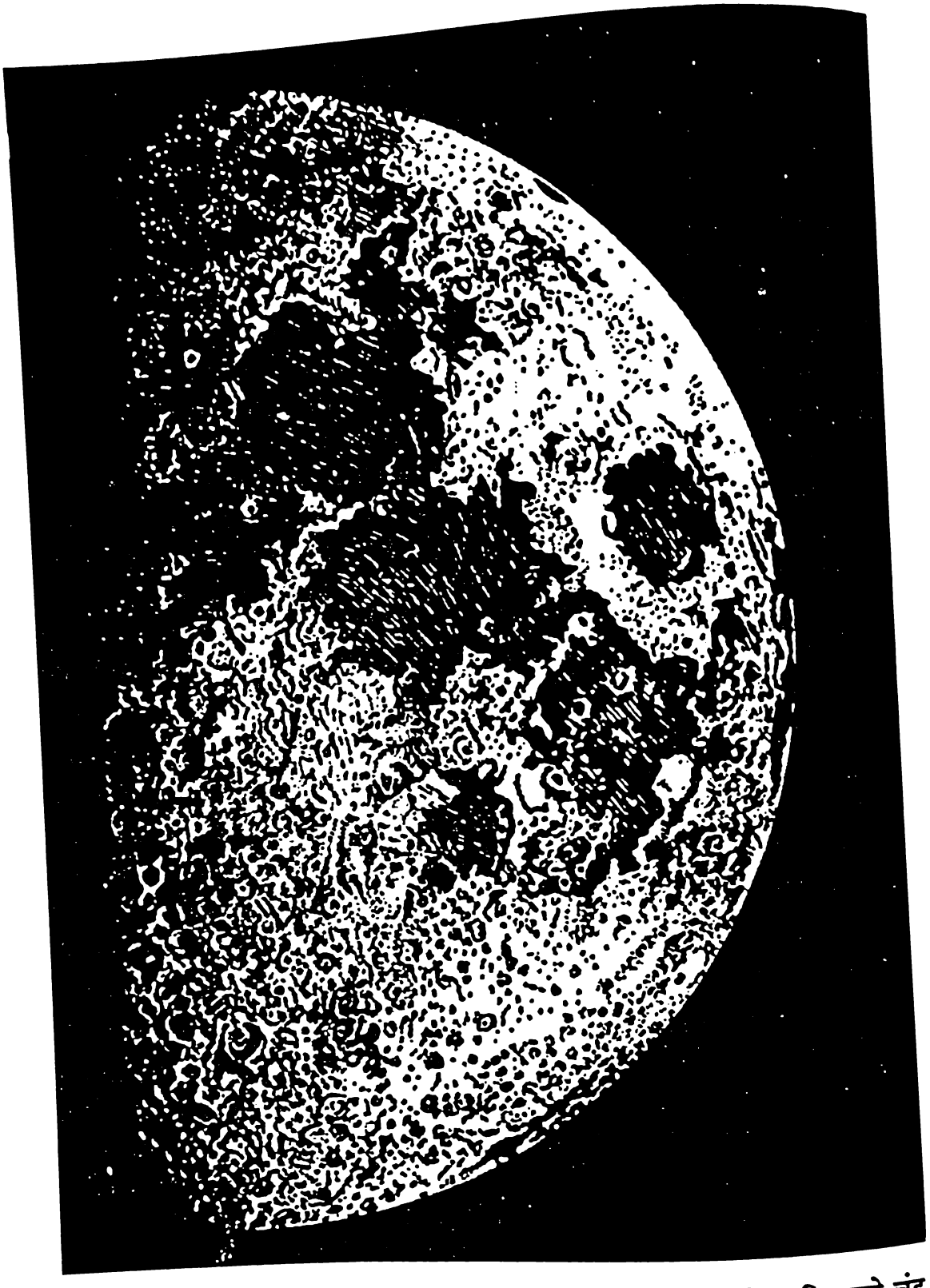
चंद्र : व्यास : ३४७३ कि. मी.; घनफळ : पृथ्वीच्या ०.०२०३ पट; वस्तुमान : पृथ्वीच्या ०.०१२३ पट आणि घनता : पाण्याच्या घनतेच्या ३.३४ पट. पृथ्वीपासून सरासरी अंतर : ३,८४,४०० कि. मी.

या प्रकरणाच्या अखेर दिलेल्या कोष्टकात सूर्यमालेमधील ग्रहांसंबंधीचे आकडे आहेत.

७५ पट परिवर्धन करून दाखविणाऱ्या छोट्या दुर्बिणीतून पाहिल्यास ग्रह कसे दिसतील हे आकृती ६७ (अ) मध्ये चित्रमय पद्धतीने दाखविले आहे. तुलना करण्यास मदत व्हावी या हेतूने आकृती ६७ (ब) मध्ये चंद्र तेवढाच मोठा करून दाखविलेला आहे. (ही आकृती स्पष्ट दृष्टीच्या अंतरावर म्हणजे डोळ्यांपासून २५ से. मी. अंतरावर धरावी.) एवढे परिवर्धन केल्यास निकटतम आणि दूरतम स्थितीत बुध कसा दिसतो हे आकृती ६७ (अ) मध्ये वर दाखविलेले आहे. शुक्र, मंगळ, गुरूचे कुल आणि आपल्या महत्तम उपग्रहांसमवेत शनी हे त्यानंतर अनुक्रमे येतात. (ग्रहांच्या दृश्य आकारासंबंधी अधिक तपशिलासाठी माझे दुसरे पुस्तक मनोरंजक पदार्थविज्ञान भाग २, प्रकरण ९वे पहा.)



आकृती : ६७ (अ)

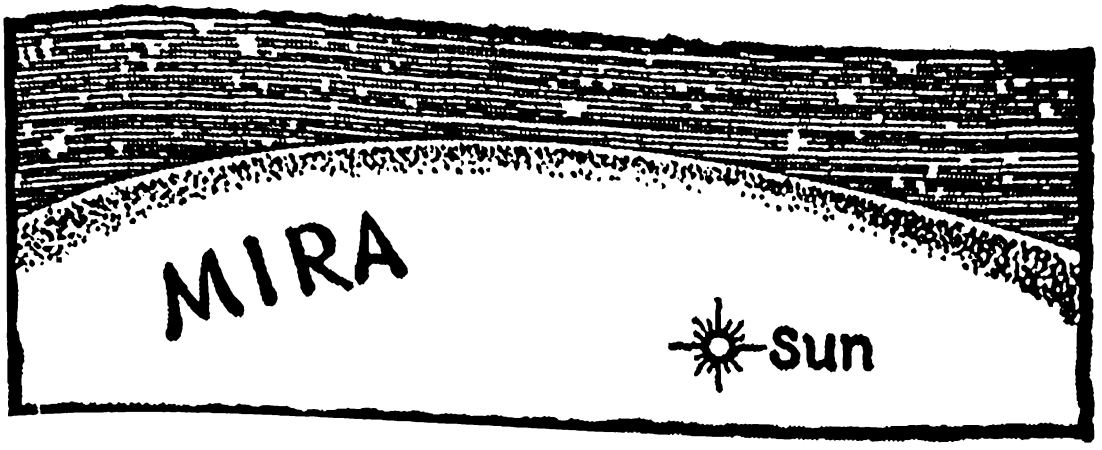


आकृती ६७ (ब) : ७५ पट परिवर्धन करून दाखविणाऱ्या दुर्बिणीतून दिसणारे चंद्र व ग्रह. आकृती डोळ्यांपासून २५ से.मी. दूर धरावी म्हणजे तशा दुर्बिणीतून दिसणारे दृश्य दिसेल.

ग्रहमालेसंबंधी आकडे

आकार, वस्तुमान, घनता व उपग्रह

नाव	सरासरी व्यास			घनफळ	वस्तुमान	घनता		उपग्रहांची संख्या
	दृश्य विकलांमध्ये	सत्य						
		कि. मी.	पृथ्वी = १	पृथ्वी = १	पृथ्वी = १	पृथ्वी = १	पाणी = १	
बुध ...	१३-४.७	४,७००	०.३७	०.०५०	०.०५४	१.००	५.५	—
शुक्र ...	६४-१०	१२,४००	०.९७	०.९०	०.८१४	०.९२	५.१	—
पृथ्वी ...	—	१२,७५७	१.०	१.००	१.०००	१.००	५.५२	१
मंगळ ...	२५-३.५	६,६००	०.५२	०.१४	०.१०७	०.७४	४.१	२
गुरू ...	५०-३०.५	१,४२,०००	११.२	१२९५	३१८.४	०.२४	१.३५	१२
शनी ...	२०.५-१५	१,२०,०००	९.५	७४५	९५.२	०.१३	०.७१	९
यूरेनस ...	४.२-३.४	५१,०००	४.०	६३	१४.६	०.२३	१.३०	५
नेपच्यून ...	२.४-२.२	५५,०००	४.३	७८	१७.३	०.२२	१.२०	२
प्लुटो ...	०.२?	५,९००	०.४७	०.१	?	?	?	?



प्रकरण चौथे

तारका

तारे तारकाकृती कां?

आपण नुसत्या डोळ्यांनीं ताऱ्यांकडे पाहतो तेव्हा त्यांची **तारकाकृती लुकलुकताना दिसते.** स्थिर तेजस्वी ठिपका दिसत नाही.

याचे **कारण** आपल्या स्वत:च्या डोळ्यांत आहे. किंबहुना डोळ्यांतील स्फटिकाकार भिंगाच्या (नेत्रमण्याच्या) पारदर्शकत्वात आहे. ह्या भिंगाची रचना चांगल्या काचेच्या भिंगाप्रमाणे एकजिनसी नसून तंतुयुक्त आहे. याबाबत हेल्महोल्ट्झ ('दृष्टीविषयक सिद्धातांचे विक्रम' ह्या त्याच्या पुस्तकात) काय म्हणतो पहा.

"प्रकाशाचे बिंदू आपल्या डोळ्यांत अयथार्थ अशी तारकाकृती प्रतिमा निर्माण करतात. डोळ्यांतील स्फटिकाकार भिंगाचा तो परिणाम होय. ह्या भिंगाचे तंतू अनेक भुजांप्रमाणे सहा दिशांना पसरलेले असतात. तारे किंवा दूरचे दिवे यांसारख्या प्रकाशबिंदूंमधून जे किरण फाकत असल्याचे आपणाला वाटते ते केवळ ह्या स्फटिकाकार भिंगाच्या किरणमय रचनेचे प्रतिबिंब होय. कोणतीही किरणाकार आकृती साधारणपणे तारकाकृती असल्याचे आपण म्हणतो यावरून हा नेत्रदोष किती सार्वत्रिक आहे हे स्पष्ट दिसते."

इच्छा असल्यास आपल्या स्फटिकाकार भिंगांतील हा दोष दूर करून, आपण ही किरणाकृती चकाकी वगळून ताऱ्यांचे दर्शन घेऊ शकतो व तेही दुर्बिणीच्या साहाय्याखेरीज. हे कसे करावे हे लिओनार्डो दा विन्चीने ४०० वर्षांपूर्वीच सांगून ठेवले आहे.

त्याने लिहिले आहे, "फाकणाऱ्या किरणांशिवाय ताऱ्यांचें दर्शन घ्या. बारीक सुईने पाडलेले सूक्ष्म छिद्र डोळ्यांजवळ आणा आणि त्यातून तारे पहा म्हणजे तसे दर्शन घडेल. तारे एवढे लहान दिसतील की त्याहून लहान काही असणेच शक्य नाही असे वाटेल."

तारकाकृतीच्या किरणांचे मूळ कशात आहे यासंबंधी हेल्महोल्ट्झचे जे विचार आहेत त्याच्याशी वरील गोष्ट विसंगत नाही. उलट ह्या प्रयोगाने त्याच्या सिद्धान्तास पुष्टी मिळते; सूक्ष्म छिद्रांतून पाहत असताना प्रकाशाची अत्यंत बारीक शलकाच डोळ्यांत शिरते व ती स्फटिकाकार भिंगाच्या मध्यभागातून जाते आणि त्यामुळे भिंगाच्या तंतुयुक्त रचनेचा त्यावर परिणाम होत नाही.*

म्हणजे, जर आपले डोळे रचनात्मकदृष्ट्या जास्त निर्दोष असते तर आपल्याला आकाशात तारका नव्हेत तर प्रकांशाचे बिंदूच दिसले असते.

तारे लुकलुकतात तर ग्रह सतत चकाकतात असे कां?

नक्षत्रपटाचे मुळीच ज्ञान नसले तरीदेखील स्थिर तारे आणि चल तारे किंवा ग्रह ** यांत नुसत्या डोळ्यांनी आपण सहज फरक करू शकतो. ग्रहांचा प्रकाश **स्थिर** असतो, उलट तारे सतत लुकलुकत असतात. मधेच त्यांची चमक वाढते आणि पुन्हा थरथरून ती कमीजास्त होत जाते आणि क्षितिजाजवळ गेलेले दीप्तिमान तारे अखंड झगमगत राहतात. फ्लामारिअन म्हणतो, "हा प्रकाश कधी तेजस्वी वाटतो तर कधी अंधुक, कधी पांढरा, कधी हिरवा तर मधेच लाल आणि अत्यंत निर्मळ हिऱ्यासारखा चमकत राहून तारकामय नभोमंडळाची शोभा तो अशी काही वृद्धिंगत करतो की हे तारे म्हणजे जणू पृथ्वीकडे टक लावून पाहणारे नेत्र असावेत असाच आपला समज होतो." रात्र थंड असेल, वारा सुटला असेल आणि जोराचा पाऊस पडून गेल्यानंतर आकाश झपाट्याने निरभ्र होत असेल, तर अशा वेळी ताऱ्यांची चमक विशेषच जोरदार आणि शोभिवंत दिसते.***

---

* वर 'तारकाकृती किरण' म्हटले आहे त्याचा अर्थ तारे पाहण्यासाठी आपण डोळे बारीक करतो तेव्हा त्यांच्यापासून येताना दिसणारा किरण हा नव्हे. पापण्यात प्रकाशाचे अपभवन झाल्याने तसे किरण दिसतात.

** प्लॅनेट (ग्रह) या ग्रीक शब्दाचा मूळ अर्थ 'फिरता तारा' असाच आहे.

*** उन्हाळ्यात तारे जास्त लुकलुकत असले तरी ती पावसाची खूण असते, वादळ येत असल्याची ती पूर्वसूचना आहे. पावसाच्या आधी ताऱ्यांचा प्रकाश प्रथमतः **निळा** असतो, अवर्षणापूर्वी तो हिरवा दिसतो.

आकाशात उंच चमकणाऱ्या ताऱ्यांपेक्षा क्षितिजाजवळचे तारे पुष्कळ अधिक लुकलुकतात आणि त्यातही पांढुरके तारे पिवळ्या किंवा लालसर ताऱ्यांहून जास्त लुकलुकतात.

तारकाकृती तेजाप्रमाणेच लुकलुकणे हाही ताऱ्यांचा स्वाभाविक गुण नाही. **डोळ्यांपर्यंत पोहोचण्यापूर्वी किरणांना पृथ्वीच्या वातावरणातून जावे लागते आणि तेथेच हा गुण त्यांना चिकटतो.** आपणास वेढणाऱ्या ज्या अविश्रांत वायुरूप द्रव्यसंघांतून विश्वाचे दर्शन आपण घेत असतो, त्याच्या पलीकडे वर जर आपण जाऊ शकलो तर तेथून आपल्याला दिसेल की तारे लुकलुकत नाहीत, ते शांत आणि स्थिर प्रकाश देत तळपत असतात.

उष्मा अतिशय असताना सूर्याच्या प्रभावाने जमीन तापते तेव्हा दूरच्या वस्तू हालत असलेल्या दिसतात, तशाच कारणामुळे तारे लुकलुकत असतात.

ताऱ्यांच्या प्रकाशाला वाट काढावी लागते ती एकजिनसी माध्यमातून नव्हे, तर भिन्न भिन्न तपमान व भिन्न भिन्न घनता असलेल्या व म्हणून भिन्न भिन्न वक्रीभवनशक्ती असलेल्या वायूच्या थरांतून. अनेक बिलोरी काचांची आणि अंतर्गोल व बहिर्गोल भिंगांची मालिका लागलेली असावी आणि तीही सतत हालत असावी असा हा प्रकार या वातावरणात दिसतो. त्यांमधून जाताना प्रकाश पुन:पुन्हा सरळ मार्गापासून फाकतो, पुन्हा एकत्र येतो आणि पुन्हा फाकतो. ताऱ्यांच्या तेजस्वितेत जो वारंवार फरक पडतो तो यामुळे आणि रंगाचा आविष्कार वक्रीभवनास जोडून होत असल्यामुळे तेजस्वितेतील बदलांच्या जोडीला **रंगाच्या** छटाही बदलत जातात.

पुल्कोवो वेधशाळेचे ज्योति:शास्त्रज्ञ जी. ए. तिखोव यांनी ताऱ्यांच्या लुकलुकण्याचा अभ्यास केला आहे. ते म्हणतात, "एखादा लुकलुकणारा तारा विशिष्ट वेळेत किती वेळा रंग बदलतो हे मोजण्याचे काही मार्ग आहेत. हे बदल अतिशय जलद घडत असतात आणि दर सेकंदास काही डझनांपासून काही शेकड्यांपर्यंत त्यांचा आकडा जातो. पुढील सोप्या पद्धतीचा अवलंब करून आपणाला त्याची खात्री करून घेता येईल. दुनेत्री दुर्बीण घेऊन एखाद्या तेजस्वी ताऱ्याकडे पहा आणि पाहताना दुर्बिणीचे भिंग झपाट्याने गोल फिरवून पहा. त्या एका ताऱ्याऐवजी तुम्हाला अनेक बहुरंगी ताऱ्यांचे वलयच दिसेल. लुकलुकणे मंद असेल तर, किंवा भिंग जलद फिरविण्यात आले तर वलय विसर्जित होऊन तारे न दिसता लहानमोठ्या लांबीचे रंगीबेरंगी चाप दिसतील.

उलट, **ग्रह लुकलुकत नाहीत.** ते संथ आणि स्थिर प्रकाशाने तळपत असतात, **याचे स्पष्टीकरण** आता मी करतो.

ताऱ्यांच्या मानाने ग्रह आपल्याला फारच जवळ आहेत. त्यामुळे ग्रह दिसतात ते प्रकाशाचे बिंदू म्हणून नव्हे तर प्रकाशाची बिंबे किंवा वर्तुळे म्हणून, परंतु त्यांच्या प्रकाशमान तेजस्वितेमुळे त्यांच्या बिंबांचे सूक्ष्म आकार लक्षात येत नाहीत.

ह्या वर्तुळातील प्रत्येक बिंदू लुकलुकत असतो, परंतु प्रत्येक बिंदूच्या तेजामधील आणि रंगांमधील बदल स्वतंत्रपणे आणि भिन्न भिन्न क्षणी घडत असतात; एकाचे तेज अंधुक होते त्याच वेळी दुसऱ्याचे वृद्धिंगत होते आणि परिणामी ग्रहाकडून येणारा एकूण प्रकाश स्थिर राहतो. ग्रहांचे तेज स्थिर व अखंड असते ते यामुळे.

म्हणजे प्रत्यक्षात ग्रह अनेक बिंदूंमध्ये एकसमयावच्छेदेकरून लुकलुकत असतात. पण त्यांचे लुकलुकणे भिन्न भिन्न क्षणी घडत असल्याकारणाने अखेर ग्रह आपल्याला दिसतात ते न लुकलुकणारे म्हणूनच.

दिवसा ताऱ्यांचे दर्शन होऊ शकेल का?

अर्ध्या वर्षापूर्वी जी नक्षत्रे आपण रात्री पाहिली होती ती आता दिवसा डोकीवर येत आहेत. आणखी सहा महिन्यांनी ती पुन्हा रात्रीच्या आकाशात चमकताना दिसतील. पृथ्वीचे सूर्यप्रकाशित वातावरण त्यांना आपल्या डोळ्यांपासून दडवून ठेवते. कारण हवेचे कण ताऱ्यांच्या किरणांपेक्षा सूर्यकिरणांना अधिक विखुरतात.*

दिवसाउजेडी तारे दिसेनासे कां होतात हे समजण्यास पुढील साध्या प्रयोगाची मदत होईल. एका पुठ्ठ्याच्या पेटीच्या एका बाजूला काही छिद्रे पाडा, मात्र ही छिद्रे एखाद्या सुपरिचित नक्षत्राच्या आकाराची असू द्यात. पेटीत दिवा ठेवा आणि ती एखाद्या अंधाऱ्या खोलीत न्या. पेटीत प्रकाश असला म्हणजे बाहेरच्या अंधारात ती छिद्रे रात्रीच्या आकाशातील नक्षत्रांसारखी स्पष्ट दिसतात.

---

* वातावरणाचे सर्वात दाट व धुलिमिश्रित थर खाली टाकून एखाद्या उत्तुंग पर्वतशिखरावर निरीक्षक पोचला, तर तेथून दिवसाउजेडीसुद्धा त्याला तेजस्वीतम तारे पाहता येतील. उदाहरणार्थ, आराराट पर्वताच्या शिखरावरून (उंची ५ कि.मी.) दुपारी २ वाजता पहिल्या प्रतीचे तारे स्पष्ट दिसतात; आकाश गडद निळ्या रंगाचे दिसते.

परंतु आतला दिवा तसाच राहू देऊन खोलीमधला बाहेरचा दिवा पेटवा, लगेच पुठ्ठ्यावरचे आपले कृत्रिम तारे दिसेनासे होतात; दिनप्रकाशाने त्यांचा लोप झाला आहे.

खोल खाणींच्या आणि विहिरींच्या, तसेच उंच धुराड्यांच्या खालून दिवसादेखील तारे दिसतात असे बरेच वेळा आपल्या वाचनात येते. ह्या मताला काही बड्या लोकांचीही पुष्टी होती पण अलीकडे त्याची प्रत्यक्ष प्रयोगाद्वारा कसोटी घेण्यात आली आणि हे मत निराधार आढळले.

खरी गोष्ट ही की ज्यांनी म्हणून या विषयावर लिखाण केले होते, मग त्यांत प्राचीन काळचा ॲरिस्टॉट्ल असो की १९व्या शतकातला हर्शल असो, त्यांपैकी कुणीही स्वत: या परिस्थितीत तारे पाहण्याची तसदी घेतली नव्हती. ते सर्वच तिसऱ्या कोणाची तरी साक्ष देत. परंतु ह्या विशिष्ट क्षेत्रात अशा साक्षीदारांच्या सांगण्यावर विसंबून राहणे किती भोळेपणाचे आहे हे पुढील उदाहरणावरून स्पष्ट दिसते. विहिरीच्या तळातून दिवसा तारे दिसतात ही शुद्ध दंतकथा आहे असे सांगणारा एक लेख एका अमेरिकन मासिकात प्रसिद्ध झाला होता. एका शेतकऱ्याने त्याला जोरदार विरोध करून सांगितले की आपण स्वत: २० मीटर उंचीच्या धान्यकुपाच्या तळातून ब्रह्महृदय आणि अलगोल हे तारे दिवसा पाहिले आहेत. पण जेव्हा त्याच्या म्हणण्याबाबत आधिक चौकशी करण्यात आली तेव्हा आढळले की त्याच्या शेताच्या अक्षांशरेषेवर या दोहोंपैकी एकही तारा त्या तारखेस खस्वस्तिकावर येत नव्हता आणि म्हणून कुपाच्या तळातून त्यांचे दर्शन होणे शक्यच नव्हते!

दिवसा ताऱ्यांचे दर्शन घेण्यास खाणीची किंवा विहिरीची मदत व्हावी याला सैद्धान्तिकदृष्ट्या काही आधार नाही. तारे दिवसा न दिसण्याचे कारण सूर्यप्रकाशात त्यांचा लोप होतो याचा वर आपण उल्लेख केलाच आहे. खाणीच्या तळाशी असलेल्या निरीक्षकाच्या डोळ्यांसही हीच गोष्ट लागू आहे. एवढेच की बाजूकडचा प्रकाश त्या स्थितीत वजा होतो. पण खाणीच्या पृष्ठभागावरील हवेच्या थरांतील किरण प्रकाश विखुरण्याचे कार्य करीत राहतात आणि परिणामी ताऱ्यांचे दर्शन होऊ देत नाहीत.

येथे महत्त्वाची गोष्ट ही की, विहिरीच्या भिंती प्रखर सूर्यप्रकाशापासून डोळ्यांचे रक्षण करतात; पण त्यामुळे तेजस्वी ग्रहांचे दर्शन घेणे तेवढे सुलभ होते, ताऱ्यांचे नव्हे.

दुर्बिणीतून दिवसासुद्धा तारे दिसतात; पण त्याचे कारण बऱ्याच लोकांना वाटते त्याप्रमाणे 'नळीच्या खालून' आपण ते पाहतो हे नव्हे; तर दुर्बिणीच्या भिंगात प्रकाशाचे वक्रीभवन झाल्याने किंवा तिच्या आरशात त्याचे परावर्तन झाल्याने निरीक्षित आकाश-विभागाचे तेज कमी होते. उलट त्याचवेळी (प्रकाशबिंदू म्हणून दिसणाऱ्या) ताऱ्यांचे तेज वृद्धिंगत होते, हे होय. ७ से.मी. च्या दुर्बिणीतून पहिल्या प्रतीचे आणि दुसऱ्या प्रतीचे तारेसुद्धा दिवसा पाहता येतात. परंतु विहिरी, खाणी किंवा धुरांडे यांच्या बाबतीत ही गोष्ट अर्थात लागू पडत नाही.

षड्भांतरकाळी शुक्र किंवा मंगळ यांसारख्या तेजस्वी ग्रहांची गोष्ट वेंगळी आहे. ते ताऱ्यांपेक्षा कितीतरी जास्त तेजाने तळपत असतात आणि म्हणून परिस्थिती अनुकूल असल्यास दिवसा पाहता येतात. (पहा, दिवसा ग्रहदर्शन, पृ. १००).

ताऱ्यांची प्रत म्हणजे काय?

ज्योतिःशास्त्राची पुसट कल्पना असलेल्या सामान्य माणसालाही हे माहीत असते की काही तारे पहिल्या प्रतीचे असतात व काही पहिल्या प्रतीचे नसतात. हे वाक्प्रयोग सामान्य प्रचारात आहेत. पण काही तारे पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्यांहून अधिक तेजस्वी असतात, किंवा शून्य वा ऋण प्रतीचेही तारे असतात ही गोष्ट त्याने बहुधा ऐकलीच नसेल. सर्वात प्रखर तेजाचे ऋण प्रतीचे तारे म्हणून वर्गीकरण करणे; सूर्याला -२७ प्रतीचा तारा म्हणून संबोधणे हे त्याला अर्थशून्यच वाटेल. काहींना तर तो ऋण संख्येच्या कल्पनेचा विपर्यासच वाटेल. वस्तुतः ऋण संख्येच्या सिद्धान्ताच्या सुसंगतपणाचे हे एक ठसठशीत उदाहरणच होय.

प्रथम ताऱ्यांचे प्रतवार वर्गीकरण करण्यासंबंधी काही गोष्टी पाहू. या ठिकाणी **'प्रत' या शब्दाने** ताऱ्यांचे भूमितीय आकार अभिप्रेत नसून त्यांची **दृश्य तेजस्विता अभिप्रेत असते** याची तुम्हाला आठवण करून देण्याची बहुधा गरज नसेलच. आकाशातील सर्वांत तेजस्वी ताऱ्यांना, सायंकाळी प्रथम दर्शन देणाऱ्या ताऱ्यांना आपल्या पूर्वजांनी पहिल्या प्रतीचे तारे ठरविले. त्यानंतर येतात दुसऱ्या, तिसऱ्या, चौथ्या, पाचव्या आणि शेवटी सहाव्या प्रतीचे तारे. सहाव्या प्रतीचे तारे साधारण आपल्या दृष्टीच्या सीमेवर आहेत. पण ताऱ्यांच्या तेजस्वितेचे वर्गीकरण करण्याच्या ह्या आत्मगत पद्धतीने नंतरच्या ज्योतिःशास्त्रज्ञांचे समाधान झाले नाही. तेजस्वितेच्या वर्गीकरणासाठी जास्त काटेकोर पाया ठरविण्यात

आला. असे प्रत्ययास आले की सर्वात तेजस्वी असलेले तारे सरासरी मानाने (कारण ते सर्वच सारखे तेजस्वी नसतात) नुसत्या दृष्टीच्या सीमारेषेवर असलेल्या सर्वात अंधुक ताऱ्यांपेक्षा बरोबर १०० पटीने तेजस्वी असतात.

कोणत्याही दोन निकट प्रतींतील ताऱ्यांच्या तेजस्वितेमधील प्रमाण एकच असेल अशा प्रकारची **ताऱ्यांच्या तेजस्वितेची सरणी** निश्चित करण्यात आली. ह्या 'प्रकाश प्रखरता प्रमाणाचा' '**न**'ने निर्देश केल्यास,

२ ऱ्या प्रतीचे तारे १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्यांहून **न** पट अंधुक आहेत.

३ ऱ्या प्रतीचे तारे २ ऱ्या प्रतीच्या ताऱ्यांहून **न** पट अंधुक आहेत.

४ थ्या प्रतीचे तारे ३ ऱ्या प्रतीच्या ताऱ्यांहून **न** पट अंधुक आहेत.

इत्यादी.

इतर सर्व प्रतींच्या ताऱ्यांची १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्यांशी तुलना करता,

३ ऱ्या प्रतीचे तारे १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून **न**^{२} पट अंधुक असतात.
४ थ्या प्रतीचे तारे १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून **न**^{३} पट अंधुक असतात.
५ व्या प्रतीचे तारे १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून **न**^{४} पट अंधुक असतात.
६ व्या प्रतीचे तारे १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून **न**^{५} पट अंधुक असतात.

प्रत्यक्ष निरीक्षणावरून **न**^{५} = १००. यावरून (लोगॅरिथमच्या साहाय्याने) प्रकाश प्रखरता प्रमाणाचे मूल्य शोधून काढणे सोपे आहे.

$$\text{न} = \sqrt[५]{१००} = २.५^{*}$$

म्हणजे प्रत्येक आनुक्रमिक प्रतीचे तारे मागील प्रतीच्या ताऱ्यांपेक्षा २.५ पट अंधुक असतात.

तारकांचे बीजगणित

सर्वात तेजस्वी असलेल्या ताऱ्यांच्या गटासंबंधी काही अधिक तपशील आता आपण पाहू. वर आपण म्हटले आहे की ते सर्वच सारखे तेजस्वी नसतात. त्यातले काही सरासरीपेक्षा कित्येक पट अधिक तेजस्वी असतात, तर काही अधिक अंधुक असतात. (त्यांची सरासरी तेजस्विता नुसत्या दृष्टीच्या सीमारेषेवरील ताऱ्यांपेक्षा शंभर पट अधिक असते.)

* जास्त अचूक म्हणजे २.५१२

आता पहिल्या प्रतीच्या सरासरी ताऱ्यांपेक्षा २.५ पट अधिक तेजस्वी असलेल्या ताऱ्यांच्या तेजस्वितेला संज्ञा देऊ. १ च्या आधी कोणती संख्या येते? शून्य. म्हणून ह्या ताऱ्यांचे वर्गीकरण 'शून्य' प्रतीचे तारे असे होते. परंतु **पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून जे तारे २.५ पट नव्हे तर दीडपट किंवा दुप्पट अधिक तेजस्वी असतील त्यांना कोणते स्थान द्यावे?** ते १ आणि ० यांच्यामध्ये येते, म्हणून त्यांची **तारकात्मक प्रत धन दशांश अपूर्णांकात** व्यक्त करावी लागते. '०.९ प्रतीचा' तारा किंवा '०.६ प्रतीचा' तारा वगैरे. हे तारे पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्यांहून अधिक तेजस्वी असतात.

तारकात्मक तेजस्वितेच्या संज्ञा ठरविताना ऋण संख्या का आणाव्या लागल्या हे आता तुमच्या लक्षात येईल. **शून्य प्रतीपेक्षा ज्यांची प्रकाश प्रखरता अधिक** आहे **असे तारे आहेत** आणि त्यांची तेजस्विता सांगण्यासाठी शून्याच्या दुसऱ्या बाजूच्या म्हणजे **ऋण संख्या** वापरणे हे उघडच आपणास भाग आहे. म्हणून -१, -२, -१.६, -०.९ या संख्या तेजस्वितेच्या वर्णनात येतात.

ज्योतिःशास्त्रीय कार्यात **'ताऱ्यांची प्रत' फोटोमीटर** (प्रकाशमापक) नावाच्या उपकरणाच्या **साहाय्याने निश्चित** करण्यात येते. परिचित प्रकाशप्रखरतेच्या एखाद्या विशिष्ट ताऱ्याच्या तेजस्वितेशी किंवा खुद्द उपकरणामधील एका 'कृत्रिम ताऱ्याशी' हव्या त्या खस्थ ज्योतीच्या तेजस्वितेशी तुलना करण्यात येते.

नभोमंडळांतील सर्वात तेजस्वी तारा जो व्याध, त्याची तारकात्मक प्रत -१.६ आहे अगस्तीची प्रत -०.९ आहे. उत्तर गोलार्धातील सर्वात तेजस्वी तारे म्हणजे अभिजित (०.१), ब्रह्महृदय आणि स्वाती (०.२), राजन्य (मृगाच्या दक्षिणेकडील पायांपैकी पश्चिमेचा) (०.३), प्रश्वा (०.५) आणि श्रवण (मधला) (०.९) (लक्षात ठेवा की ०.५ प्रतीचे तारे ०.९ प्रतीच्या ताऱ्यांपेक्षा अधिक तेजस्वी असतात इत्यादी). **सर्वात तेजस्वी** तारे आणि **त्यांच्या प्रती यांची एक यादी** खाली दिली आहे. (तारकापुंजांची भारतीय व युरोपीय नावे कंसात दिली आहेत.)

व्याध (बृहल्लुब्धक क, आल्फा कॅनिस मेजॉरिस)...		-	१.६
अगस्ती (नौका क, आल्फा आर्गोनोव्हिस)	...	...	-०.९
मित्र (नरतुरंग क, आल्फा सेंटॉरी) ...	...	...	०.१
अभिजित (वीणा क, आल्फा लायरी) ...	...	...	०.१
ब्रह्महृदय (सारथी क, आल्फा ऑरीगी)...	...	...	०.२

स्वाती (दक्षिण भूतप क, आल्फा बूटस)	०.२
राजन्य (मृग ख, बीटा ओरायनिस)	०.३
प्रश्वा (लघुलुब्धक क, आल्फा कॅनिस मायनॉरिस) ...	०.५
यमुना (यमुना क, आल्फा एरिडॅनी)	०.६
ब्रह्मा (नरतुरंग ख, बीटा सेंटॉरी)	०.९
आर्द्रा (मृग क, आल्फा ओरायनिस)	०.९
श्रवण (गरुड क, आल्फा ॲक्वीली)	०.९
त्रिशंकू (त्रिशंकू क, आल्फा क्रुसिस)	१.१
रोहिणी (वृषभ क, आल्फा टॉरी)	१.१
प्लक्ष (पुनर्वसूमधील उत्तर पूर्वेचा) (मिथुन ख, बीटा जेमिनोरेम्)	१.२
चित्रा (कन्या क, आल्फा व्हर्जिनिस)	१.२
ज्येष्ठा (वृश्चिक क, आल्फा स्कॉर्पिआय)...	१.२
भूतप (दक्षिणमत्स्य क, आल्फा पीसीज ऑस्ट्रेलिस) ...	१.३
हंस (हंस क, आल्फा सिग्नी)...	१.३
मघा (सिंह क, आल्फा लिऑनिज)	१.३

यादीकडे नजर टाकताच लक्षात येईल की नेमक्या १ ल्या प्रतीचा एकही तारा त्यात नाही. ०.९ प्रतीच्या ताऱ्यांपासून ही यादी सरळ १.१, १.२ प्रतींकडे आपणास नेते, म्हणजे पहिली प्रत वगळूनच पुढे जाते. त्या अर्थी निष्कर्ष हा की पहिल्या प्रतीचा तारा अस्तित्वातच नाही. ते केवळ तेजस्वितेचे एक सांकेतिक मान आहे.

ताऱ्यांच्या प्राकृतिक गुणधर्मावरून त्यांची प्रतवारी निश्चित होते असे मात्र समजू नये. ही प्रतवारी आपल्या दृष्टीच्या आधारेच ठरते आणि सर्व ज्ञानेंद्रियास लागू असलेल्या, वेबर-फेक्नर यांच्या मनोदैहिक नियमाचा तो परिपाक आहे. दृष्टीच्या बाबतीत हा नियम असा : जेव्हा उज्ज्वलता भूमितीश्रेणीने बदलते, तेव्हा प्रकाश प्रखरतेची संवेदना अंकश्रेणीने बदलते. (गंमत ही की ध्वनी आणि गोंगाट यांचे प्रमाण मोजताना पदार्थविज्ञानशास्त्रज्ञ ताऱ्यांची तेजस्विता सिद्ध करण्यासाठी उपयोगात येणाऱ्या तत्त्वाचाच आधार घेतात.) तेजस्वितेच्या ज्योतिःशास्त्रीय श्रेणीशी एकदा परिचय झाल्यानंतर आता आपण काही **उद्‌बोधक हिशेब** करून पाहू. तिसऱ्या प्रतीचे किती तारे एकत्र केल्यास एका पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्याएवढे तेजस्वी दिसतील हे गणित आपण करून पाहू. आपल्याला माहीत आहे की तिसऱ्या प्रतीचे तारे पहिल्या ताऱ्यांपेक्षा २.५^{२} किंवा ६.३ पट

अंधुक असतात, त्या अर्थी एका पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्याची जागा घ्यायला ६.३ तिसऱ्या प्रतीचे तारे हवेत. अशा गणनेचे निष्कर्ष खालील कोष्टकात दिले आहेत.*

एका पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्याची जागा घ्यायला इतर प्रतींचे तारे खालीलप्रमाणे हवेत :

२ ऱ्या प्रतीचे	२.५	७ व्या प्रतीचे	२५०
३ ऱ्या प्रतीचे	६.३	१० व्या प्रतीचे	४०००
४ थ्या प्रतीचे	१६	११ व्या प्रतीचे	१०,०००
५ व्या प्रतीचे	४०	१६ व्या प्रतीचे	१०,००,०००
६ व्या प्रतीचे	१००	–	–

७ व्या प्रतीलाच आपण सीमारेषा ओलांडून नुसत्या डोळ्यांनी न दिसणाऱ्या तारकांच्या जगात प्रवेश करतो. १६व्या प्रतीचे तारे फारच शक्तिशाली दुर्बिणीतून पाहता येतात. नुसत्या नजरेने ते पहायचे तर आपल्या निसर्गदत्त दृष्टीची संवेदनक्षमता १०,००० पट जास्त जोरदार हवी, तरच आज ६ व्या प्रतीचे तारे आपण जसे पाहतो तसे १६ व्या प्रतीचे तारे पाहू शकू.

वरील कोष्टकात अर्थात 'पूर्व-प्रथम' प्रतीच्या ताऱ्यांचा समावेश करता येत नाही. तशा काही ताऱ्यांच्या संबंधीचे आकडे पुढीलप्रमाणे आहेत : ०.५ प्रतीचे तारे (प्रश्वा) १ ल्या प्रतीच्या ताऱ्याहून $२.५^{०.५}$ किंवा १.५ पट तेजस्वी असतात, ०.९ प्रतीचे तारे (अगस्ती) $२.५^{१.९}$ किंवा ५.८ पट तेजस्वी असतात. आणि -१.६ प्रतीचे तारे (व्याध) $२.५^{२.६}$ किंवा ११ पट तेजस्वी असतात.

अखेर **आणखी एक मनोरंजक गणना** करून पाहू. नुसत्या **डोळ्यांनी दिसणाऱ्या सर्व ताऱ्यांचा जो एकूण प्रकाश आहे तो द्यायला पहिल्या प्रतीचे किती तारे पुरेसे होतील?**

प्रथम आपण हे गृहीत धरतो की एका गोलार्धात पहिल्या प्रतीचे १० तारे आहेत. असे आढळून आले आहे की प्रत्येक पुढच्या प्रतीचे तारे मागच्या प्रतीतील ताऱ्यांहून संख्येने तिप्पट असतात. तेजस्वितेच्या बाबतीत ते २.५ पट अंधुक असतात; त्या अर्थी आपणाला हवी असलेली संख्या म्हणजे खालील श्रेणींतील घटकांची बेरीज होय.

---

* प्रकाश प्रखरता गुणकाचा लघुगणक (लोगॅरिथम) अगदी सुटसुटीत म्हणजे ०.४ आहे. यामुळे ही गणना सुलभ होते.

$$१० + (१०\times३\times\frac{१}{२.५}) + (१०\times३^{२}\times\frac{१}{२.५^{२}}) +...+ (१०\times३^{५}\ \frac{१}{२.५^{५}})$$

$$= \frac{१०\times\ (\frac{३}{२.५})^{६}-१०}{(\frac{३}{२.५})-१} = ९५$$

म्हणजे एका गोलार्धातील सर्व दृष्टिगोचर ताऱ्यांच्या एकूण तेजस्वितेची बेरीज पहिल्या प्रतीच्या १०० ताऱ्यांएवढी किंवा -४ प्रतीच्या एका ताऱ्याएवढी होईल.

नुसत्या डोळ्यांनी दिसणारेच नव्हे तर आधुनिक दुर्बिणीच्या आटोक्यात असलेले तारेदेखील जमेस घेतले तर त्यांची एकूण तेजस्विता पहिल्या प्रतीच्या ११०० ताऱ्यांएवढी किंवा -६.६ प्रतीच्या एका ताऱ्याएवढी होईल.

डोळे आणि दुर्बीण

ताऱ्यांचे दुर्बिणीतून घडणारे दर्शन आणि नुसत्या डोळ्यांनी घडणारे दर्शन यांची आपण तुलना करून पाहू.

रात्री पाहताना मानवी नेत्रांतील बाहुलीचा व्यास सरासरी ७ मि.मी. असतो असे आपण धरू. ५ सें.मी. ची दुर्बीण त्याहून $(\frac{५०}{७})^{२}$ किंवा साधारण ५० पट अधिक प्रकाश आत घेते आणि ५० सें.मी. ची दुर्बीण ५००० पट. तेवढ्या प्रमाणात दुर्बीण ताऱ्यांची तेजस्विता वाढवून देते. (हे केवळ ताऱ्यांना लागू आहे, ग्रहांना नव्हे. कारण ग्रहांची बिंबे दिसत असतात. ग्रहाच्या प्रतिमेची तेजस्विता ठरविताना दुर्बिणीची परिवर्धनशक्तीदेखील जमेस धरावी लागते.)

एवढे माहीत झाल्यावर एका विशिष्ट प्रतीचे तारे पहायला दुर्बिणीचे भिंग किती व्यासाचे हवे हे तुम्ही सांगू शकाल; तसेच विशिष्ट आकाराच्या भिंगाच्या दुर्बिणीतून कोणत्या प्रतीचे तारे पाहता येतील हेही आपल्याला कळले पाहिजे.

समजा ६४ से.मी.ची दुर्बीण १५ व्या प्रतीपर्यंतचे तारे दाखवू शकते हे तुम्हाला माहीत आहे. मग पुढच्या म्हणजे १६ व्या प्रतीचे तारे पहायला किती व्यासाचे भिंग हवे? हा अज्ञात व्यास क्ष असल्यास $\frac{क्ष^{२}}{६४^{२}} = २.५$, त्या अर्थी क्ष = $\sqrt{६४\times २.५} = १००$ = सें.मी. म्हणजे एक मीटर व्यासाचे भिंग असलेली दुर्बीण हवी. साधारणपणे पुढची तारकात्मक प्रत गाठण्याइतपत दुर्बिणीची

परिवर्धनशक्ती वाढवावयाची झाल्यास भिंगाचा व्यास २.५ किंवा १.६ पट वाढविला पाहिजे.

सूर्यचंद्राच्या तारकात्मक प्रती

आपल्या बीजगणितातील सहलीत इतर आकाशस्थ वस्तूही आपण घेऊया. तारकांची तेजस्विता मोजायला योजलेले प्रमाण वापरून स्थिर ताऱ्यांखेरीज इतर तेजांची म्हणजे ग्रह-सूर्यचंद्रांची स्थानेदेखील आपण ठरवू शकतो. ग्रहांच्या तेजस्वितेबाबत मी विशेष विस्ताराने नंतर सांगेन. सध्या आपण सूर्यचंद्रांच्या तारकात्मक प्रतीविषयी बोलू. **सूर्याची तारकात्मक प्रत- २६.८** या संख्येने व्यक्त होते. **पौर्णिमेच्या चंद्राची*- १२.६ने.** या उभय संख्या ऋण कां आहेत, हे वाचकांनी मागील पृष्ठांवरून ताडले असेल असे मी धरून चालतो. परंतु सूर्याची प्रत आणि चंद्राची प्रत यातला फरक सकृतदर्शनी अपुरा वाटतो, त्याने कदाचित बुचकाळ्यात पडल्यासारखे होईल. कदाचित तुम्ही म्हणाल, "सूर्याचे तेज चंद्राच्या केवळ दुप्पटच आहे."

परंतु तारकात्मक प्रत म्हणजे प्रत्यक्षात २.५ हे निधान असलेला एक प्रकारचा लघुगुणक (लोगॅरिथम) आहे हे विसरू नका. ज्या प्रमाणे दोन संख्यांची तुलना करताना एकाच्या लोगॅरिथमला दुसऱ्याच्या लोगॅरिथमने भागणे अशक्य आहे. त्याप्रमाणेच तारकात्मक प्रतींची तुलना करताना त्यांचा भागाकार करता येत नाही.

सूर्याची तारकात्मक प्रत-२६.८ आहे, म्हणजे पहिल्या प्रतीच्या ताऱ्यापेक्षा तो $२.५^{२७.८}$ पट अधिक तेजस्वी आहे, तर चंद्र त्याहून फक्त $२.५^{१३.६}$ पट अधिक तेजस्वी आहे.

म्हणून **सूर्याचे तेज पौर्णिमेच्या चंद्राहून** $\frac{२.५^{२७.८}}{२.५^{१३.६}} = २.५^{१४.२}$ **पट अधिक उज्ज्वल आहे.** लोगॅरिथम कोष्टकाच्या साहाय्याने सोडवून पाहिल्यास उत्तर येते ४,४७,०००. म्हणून सूर्य आणि चंद्र यांच्या तेजस्वितेचे खरे प्रमाण पुढीलप्रमाणे सांगता येईल. हवा स्वच्छ असताना दिनराज सूर्याचे पृथ्वीवर पडणारे तेज निरभ्र रात्रीच्या वेळच्या ४,४७,००० पूर्ण चंद्राएवढे असते!

---

* कृष्ण पक्षातील शेवटच्या आणि शुक्र पक्षाच्या सुरुवातीच्या तिथीवेळी चंद्राची तारकात्मक प्रत -९ असते.

चंद्राकडून परावर्तित होणाऱ्या उष्णतेचे प्रमाण त्याच्या प्रकाशाच्याच प्रमाणात आहे असे धरल्यास—आणि हे बहुधा जवळ जवळ सत्य आहे—त्याच्यापासून मिळणारी उष्णता सूर्याच्या मानाने ४,४७,००० पट कमी आहे असे धरता येते. वातावरणाच्या सीमेवर दर चौरस इंच क्षेत्रफळास सूर्यापासून दर मिनिटास उष्णतेच्या दोन कॅलरी मिळतात हे ज्योतिःशास्त्रज्ञांना माहीत आहे. म्हणून चंद्राकडून पृथ्वीच्या दर चौरस सें. मी. भागास दर मिनिटास एका कॅलरीच्या २२५,००० हिश्शाएवढीच उष्णता मिळते. दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे ही उष्णता एक ग्रॅम पाण्याचे तपमान एक अंशाच्या २,२५,०००च्या हिश्शाने वाढवील. म्हणून **पृथ्वीच्या हवामानावर चांदण्याचा काही प्रभाव पडतो असे दाखविण्याचे प्रयत्न** किती **निराधार** आहेत हे यावरून आपणाला दिसते.* पूर्णचंद्राच्या किरणांमुळे ढग पुष्कळदा वितळतात अशी एक समजूत बरीच प्रचलित आहे. हा शुद्ध भ्रम आहे; त्याचा खरा खुलासा असा की रात्री ढग नाहीसे झाले (त्याची अन्य कारणे असतात) तर चांदण्यातच ती गोष्ट लक्षात येते.

आता आपण चंद्राची रजा घेऊ आणि आकाशातील सर्वात उज्ज्वल तारा जो व्याध त्याच्यापेक्षा सूर्य कितीपट तेजस्वी आहे हे मोजून पाहू. पूर्ववत गणना करून तेजस्वितेचे प्रमाण निघते ते :

$$\frac{२.५^{२७.८}}{२.५^{२.६}} = २.५^{२५.२} = १०,०००,०००,०००.$$

म्हणजे **सूर्य व्याधाहून १० अब्ज पट तेजस्वी** आहे.

आता आणखी एक मनोरंजक गणित पहा. नभोमंडळातील सर्व ताऱ्यांच्या, म्हणजे एका खगोलार्धात नुसत्या डोळ्यांनी दिसणाऱ्या **सर्व ताऱ्यांच्या एकूण प्रकाशापेक्षा पौर्णिमेच्या चंद्राचा प्रकाश किती पट उज्ज्वल असतो?** आपण यापूर्वीच शोधून काढले आहे की पहिल्या प्रतीपासून ६व्या प्रतीपर्यंतचे सर्व तारे पहिल्या प्रतीच्या १०० ताऱ्यांइतका प्रकाश देतात. सबब अशा प्रथम प्रतीच्या १०० ताऱ्यांहून चंद्र कितीपट तेजस्वी आहे हे आपल्याला शोधून काढावयाचे आहे.

हा आकडा $\frac{२.५^{१३.६}}{१००} = २७००$ आहे

---

* चंद्राच्या गुरुत्वाकर्षणाचा हवामानावर प्रभाव पडतो, त्याची चर्चा या पुस्तकाच्या शेवटी केली आहे. (पहा, 'चंद्र आणि हवामान.')

म्हणजे अमावास्येच्या रात्री आकाश स्वच्छ असल्यास ताऱ्यांकडून मिळणारा प्रकाश पौर्णिमेच्या चांदण्याच्या $\frac{१}{२७००}$ आहे, किंवा निरभ्र दिवशी सूर्याकडून मिळणाऱ्या प्रकाशाच्या २७०० x ४,४७,०० म्हणजे १ अब्ज २० कोटी पट कमी आहे!

याच्या जोडीला हेही सांगितले पाहिजे की एक सामान्य **आंतरराष्ट्रीय 'प्रमाण मेणबत्ती' एक मीटर दूर ठेवल्यास तिची तारकात्मक प्रत - १४.६** असते; याचा अर्थ या अंतरावर तिचा प्रकाश पूर्ण चंद्रापेक्षा २.५ $^{१४.२-१२.६}$ किंवा ४ पट अधिक उज्ज्वल असतो.

नोंद घेण्यालायक आणखी एक गोष्ट म्हणजे विमानाची २ अब्ज कँडल-पॉवरची बत्ती जर चंद्राएवढी दूर ठेवली तर ती ४-५ प्रतीचा तारा म्हणून दृष्टीस पडेल, दुसऱ्या शब्दांत सांगावयाचे म्हणजे ती नुसत्या डोळ्यांनी पाहता येईल.

तारे आणि सूर्य यांचे खरे तेजोमान

आतापर्यंत तेजस्वितेबाबत आपण हे सर्व मूल्यमापन केले ते फक्त दर्शनीय तेजस्वितेबद्दल आहे. आकाशस्थ ज्योती आपणापासून खरोखर ज्या अंतरावर आहेत त्या त्या अंतरावर त्यांचे तेजोमान केवढे आहे हे त्या आकड्यावरून समजते. पण आपल्याला हे चांगलेच अवगत आहे की सर्व तारे सारख्या अंतरावर नाहीत. म्हणून त्याची दर्शनीय तेजस्विता त्यांचे खरे तेजोमान आणि त्यांचे आपल्यापासूनचे अंतर दोहोंची संयुक्त माहिती देते, किंवा जास्त अचूक सांगायचे तर या गोष्टी वेगळ्या करेपर्यंत दोहोंपैकी एकाचीही माहिती देत नाही. वेगवेगळे तारे सारख्याच अंतरावर असते तर त्यांची तुलनात्मक तेजस्विता किंवा 'तेजोमान' काय असेल हे जाणून घेणे महत्त्वाचे आहे.

अशा तऱ्हेने हा प्रश्न उपस्थित करून ज्योतिःशास्त्रज्ञ **'केवल' तारकात्मक प्रतींची कल्पना** शास्त्रात आणतात. **केवळ प्रत म्हणजे १० पार्सेक अंतरावर तारा ठेवल्यास दिसणारी त्याची तारकात्मक प्रत.** ताऱ्यांचा अंतरांचा निर्देश करण्यासाठी पार्सेक हे लांबीचे एकमान वापरतात; त्याचे मूळ कशात आहे, हे आपण पुढे पाहू. सध्या एवढे नमूद करून ठेवू की **एक पार्सेक म्हणजे ३०,८००,००,००,००,००० (३०८०० अब्ज) किलोमीटर.** ताऱ्यांचे अंतर माहीत असेल तर, **तेजस्विता अंतराच्या वर्गसंख्येच्या व्यस्त**

प्रमाणात असते, या नियमाच्या आधारे आपण केवळ तारकात्मक प्रत सहज ठरवू शकतो.*

फक्त दोन बाबतीतील गणनेचे निष्कर्ष आम्ही वाचकांपुढे ठेवू. त्या गणना व्याध आणि सूर्य यासंबंधीच्या आहेत. व्याधाची **केवळ** प्रत निघते + १.३ आणि सूर्याची + ४.८. याचा अर्थ ३०८०० अब्ज किलोमीटर अंतरावर व्याध १.३ प्रतीच्या ताऱ्यासारखा दिसेल आणि सूर्य ४.८ प्रतीच्या ताऱ्यासारखा. म्हणजे सूर्य व्याधाहून $\frac{२.५^{३.८}}{२.५^{०.३}} = २.५^{३.५} =$ २५ पट अंधुक आहे. सूर्याची दर्शनीय तेजस्विता व्याधाच्या दर्शनीय तेजस्वितेपेक्षा १० अब्ज पट असली तरी त्याचे खरे तेजोमान व्याधापेक्षा २५ पट कमी आहे.

यावरून आपण पाहतो की सूर्य हा आकाशातील सर्वात तेजस्वी तारा मुळीच नाही. परंतु म्हणून सूर्य त्याच्या बरोबरच्या ताऱ्यातला एक खुजा ताराच आहे अशी कल्पना करून घेऊ नका; त्याचे तेज सरासरी ताऱ्यापेक्षा जास्त आहे. ताऱ्यासंबंधीच्या आकड्यानुसार, १० पार्सेकच्या अंतरापर्यंत, सूर्याच्या भोवतालचे सरासरी तेजाचे तारे ९ व्या केवल प्रतीचे आहेत.

सूर्याची केवळ प्रत ४.८ याचा अर्थ शेजारच्या सरासरी ताऱ्यापेक्षा सूर्य $\frac{२.५^{८}}{२.५^{३.८}} = २.५^{४.२} =$ ५० पट अधिक तेजस्वी आहे.

केवल मानात सूर्य व्याधाहून २५ पट अंधुक असला तरी सभोवतालच्या सरासरी ताऱ्यापेक्षा तो ५० पट अधिक तेजस्वी आहे.

---

* ह्या गणनेसाठी खालील सूत्राचा उपयोग करावा. (पार्सेक आणि लंबन यांचे अधिक ज्ञान झाल्यावर वाचकाला ह्या सूत्राचा उगम नंतर लक्षात येईल.) हे सूत्र आहे :

$२.५^{म} = २.५^{म} \left(\frac{प}{०.१}\right)^{२}$ यात **म** ही ताऱ्याची केवल प्रत आहे, म त्याची दर्शनीय प्रत आहे आणि **प** हे त्याचे विकलांमध्ये लंबन आहे. त्या गणनेतील कृत्ये पुढीलप्रमाणे आहेत :

$२.५^{म} = २.५^{म} \times १००प^{२}$

म लॉग २.५ = म लॉग २.५ + २ + २ लॉग प

∴ ०.४ **म** = ०.४ म + २ + २ लॉग प

आणि म्हणून **म** = म + ५ + ५ + लॉग प

व्याधाच्या बाबतीत म = -१.६ आणि प =०".३८ म्हणजे त्याची केवल प्रत **म** = -१.६+ ५ + ५ लॉग ०.३८ = १.३.

ज्ञात ताऱ्यांपैकी तेजस्वीतम तारा

आतापर्यंत माहीत असलेल्या ताऱ्यांमध्ये महत्तम तेजोमान एका ८ व्या प्रतीच्या ताऱ्याचे आहे. हा तारा डोराडो पुंजांत असून त्याला लॅटिन अक्षर एस्ची संज्ञा दिलेली आहे. **(एस् डोरॅडस्).** तो अर्थात नुसत्या डोळ्यांनी दिसत नाही. हा तारकापुंज दक्षिण गोलार्धात आहे व तो उत्तर गोलार्धाच्या समशीतोष्ण कटिबंधांत दिसत नाही. हा तारा आपल्या **आकाशगंगेसमीपच्या 'मॅगेलानचा लहान मेघ' ह्या नावाच्या तारकामंडलात** आहे; हा मेघ आपल्यापासून व्याधापेक्षा १२००० पट दूर अंतरावर आहे. हे अफाट अंतर लक्षात घेता ८व्या प्रतीचा तारा म्हणूनसुद्धा गणना होण्याला त्याचे तेजोमानही तसेच अफाट असले पाहिजे.

व्याध जर एवढ्या दूर अंतरावर असता तर तो १७व्या प्रतीचा तारा म्हणून दिसला असता म्हणजे सर्वात शक्तिशाली दुर्बिणीतही तो जेमतेम दिसला असता.

मग ह्या विलक्षण ताऱ्याचे तेजोमान आहे तरी किती? गणनेवरून निष्कर्ष निघतो तो हा की हा तारा ९व्या प्रतीचा आहे. याचा अर्थ **केवल मानाने तो सूर्याहून साधारण ४ लक्ष पट तेजस्वी आहे.** जर हा तेजस्वीतम तारा व्याधाएवढ्या अंतरावर असता तर तो त्याहून ९ प्रती अधिक तेजस्वी दिसला असता, म्हणजे चतुर्थीच्या चंद्राएवढा उज्ज्वल भासला असता! व्याधाएवढ्या अंतरावर राहून पृथ्वीवर एवढा प्रकाश टाकू शकणाऱ्या ताऱ्याला ज्ञात ताऱ्यांमधील सर्वात तेजस्वी तारा असे म्हणवून घेण्याचा अवश्य हक्क पोहोचतो.

आपल्या व इतरांच्या आकाशात दिसणाऱ्या ग्रहांच्या तारकात्मक प्रती

यापूर्वी एकदा, 'परक्या आकाशात' या भागात आपण इतर ग्रहांचा एक काल्पनिक दौरा करून आलो होतो; आता त्यावर प्रकाशणाऱ्या ज्योतींच्या तेजस्वितेचे अधिक यथार्थ मूल्यमापन करण्यासाठी आपण पुन्हा एकदा तो दौरा करून येऊ. प्रथम पृथ्वीच्याच आकाशात ग्रह जेव्हा पूर्ण तेजाने तळपताना दिसतात त्या वेळी त्यांच्या तारकात्मक प्रती कोणत्या असतात याचा निर्देश आपण करू. संबंधित तक्ता खालीलप्रमाणे आहे :

पृथ्वीच्या आकाशात

शुक्र	... ...	- ४.३	शनी	... ...	- ०.४
मंगळ	... ...	- २.८	युरेनस	... ...	+ ५.७

गुरु	... ... - २.५	नेपच्यून	... ... + ७.६
बुध	... ... - १.२		

या कोष्टकावरून दिसते की गुरूपेक्षा शुक्र दोन तारकात्मक प्रतींनी म्हणजे $२.५^{२}$ किंवा ६.२५ पटींनी अधिक तेजस्वी आहे. तसेच व्याधाहून (व्याधाची तेजस्विता - १.६ प्रतीची आहे.) तो $२.५^{-२.७}$ किंवा १३ पट अधिक तेजस्वी आहे. तसेच हेही कळते की शनी हा ग्रह अंधुक असला तरी व्याध आणि अगस्ती सोडल्यास इतर सर्व स्थिर ताऱ्यांपेक्षा तो अधिक तेजस्वी आहे. तसेच शुक्र व गुरू या ग्रहांचे दर्शन कधी कधी दिवसांदेखील नुसत्या डोळ्यांनी होऊ शकते, पण तारे मात्र दिवसा डोळ्यांना दिसत नाहीत याच्या कारणाचा सुगावादेखील ह्या कोष्टकात मिळतो.

आता शुक्र, मंगळ आणि गुरू यांच्या आकाशात दिसणाऱ्या ज्योतीची तेजस्विता सांगणारी कोष्टके घेऊ. त्यांना अधिक खुलासा जोडण्याची गरज नाही, कारण 'परक्या आकाशात' ह्या भागात जे काही सांगून झाले आहे त्यालाच संख्यात्मक रूप फक्त ह्या कोष्टकात दिलेले आहे.

मंगळाच्या आकाशात

सूर्य	... ... - २६
फोबोस	... ... - ८
डैमोस	... ... - ३.७
शुक्र	... ... - ३.२
गुरू	... ... - २.८
पृथ्वी	... ... - २.६
बुध	... ... - ०.८
शनी	... ... - ०.६

शुक्राच्या आकाशात

सूर्य	... ... - २७.५
पृथ्वी	... ... - ६.६
बुध	... ... - २.७
गुरू	... ... - २.४
चंद्र	... ... - २.४
शनी	... ... - ०.३

गुरूच्या आकाशात

सूर्य	... ... - २३	उपग्रह ४	... ... - ३.३
उपग्रह १	... ... - ७.७	उपग्रह ५	... ... - २.८
उपग्रह २	... ... - ६.४	शनी	... ... - २.८
उपग्रह ३	... ... - ५.६	शुक्र	... ... - ०.३

स्वत:च्या उपग्रहांवरील आकाशात त्या त्या ग्रहाची तेजस्विता किती असते याचे मोजमाप घेताना मानाचे स्थान फोबोसच्या आकाशात दिसणाऱ्या मंगळाच्या पूर्ण बिंबास (-२२.५) जाते; त्याच्या मागोमाग येतात, उपग्रह ५च्या आकाशातील गुरूचे पूर्ण बिंब (-२१) आणि मिमास उपग्रहाच्या आकाशातील शनीचे पूर्ण बिंब (-२०); या ठिकाणी दिसणारा शनी सूर्याहून फक्त पाचच पट अंधुक असतो!

अखेर **ग्रहांची एकमेकांच्या आकाशातील तेजस्विता देणारे आणखी एक उद्‌बोधक कोष्टक.** तेजस्वितेच्या उतरत्या क्रमात ते दिलेले आहे.

तारकात्मक प्रती			तारकात्मक प्रती		
बुधावरून शुक्र	...	- ७.७	शुक्रावरून बुध	...	- २.७
शुक्रावरून पृथ्वी	...	- ६.६	मंगळावरून पृथ्वी	...	- २.६
बुधावरून पृथ्वी	...	- ५	पृथ्वीवरून गुरू	...	- २.५
पृथ्वीवरून शुक्र	...	- ४.३	शुक्रावरून गुरू	...	- २.४
मंगळावरून शुक्र	...	- ३.२	बुधावरून गुरू	...	- २.२
मंगळावरून गुरू	...	- २.८	गुरुवरून शनी	...	- २
पृथ्वीवरून मंगळ	...	- २.८			

या कोष्टकावरून लक्षात येईल की बुधावरून दिसणारा शुक्र, शुक्रावरून दिसणारी पृथ्वी आणि बुधावरून दिसणारी पृथ्वी ही प्रमुख ग्रहांच्या आकाशातील सर्वात उज्ज्वल तेजे होत.

दुर्बिणीत ताऱ्यांचे परिवर्धन कां होत नाही?

दुर्बिणीतून ताऱ्यांकडे प्रथमच पाहणाऱ्या लोकांना एका गोष्टीचे मोठे आश्चर्य वाटते. ज्या दुर्बिणीतून चंद्राचे आणि ग्रहांचे स्पष्ट परिवर्धन होते म्हणजे त्यांचा आकार मोठा झालेला आढळतो, त्याच दुर्बिणीत ताऱ्यांचे मात्र परिवर्धन होत नाही. बिंबाऐवजी केवळ तेजस्वी बिंदू दिसतात आणि आकार मोठा होण्याऐवजी लहानच दिसतो. दृष्टीला बाह्य साधनांची जोड देऊन आकाश न्याहाळण्याचा पहिला मान ज्याच्या वाट्याला जातो त्या गॅलिलिओनेच त्याच्या काळी ही गोष्ट नमूद केली होती. त्याने तयार केलेल्या दुर्बिणीतून घेतलेल्या आरंभिक वेधांचे वर्णन करताना तो म्हणतो :

"दुर्बिणीतून पाहिल्यास ग्रहांच्या आणि ताऱ्यांच्या आकारात जो फरक

आढळतो तो नोंद घेण्यालायक आहे. ग्रह दिसतात ते स्पष्ट रेखाटलेल्या वर्तुळासारखे, लहान नाण्याप्रमाणे; उलट स्थिर ताऱ्यांना व्यवच्छेदक रूपरेषा असल्याचे दिसत नाही... दुर्बीण फक्त त्यांच्या तेजस्वितेचेच परिवर्धन करते आणि ५ व्या वा ६ व्या प्रतीच्या ताऱ्यांना स्थिर ताऱ्यांतील सर्वात उज्ज्वल जो व्याध त्याची दीप्ती बहाल करते.''

ताऱ्यांचे परिवर्धन करून दाखविण्यास दुर्बीण का असमर्थ आहे याचे स्पष्टीकरण करण्याच्या दृष्टीने प्रथम डोळ्यांच्या दृष्टीबद्दलच्या काही शरीरशास्त्रीय आणि पदार्थविज्ञानशास्त्रीय सत्यांची तुम्हाला आठवण दिली पाहिजे. तुमच्यापासून दूर चाललेल्या माणसाचा मागोवा जेव्हा डोळे घेतात तेव्हा डोळ्यांच्या मज्जापटलावरील त्याची प्रतिमा अधिकाधिक लहान होत जाते. तो काही विशिष्ट अंतरावर गेल्यानंतर मज्जापटलावर त्याचे डोके व पाय एवढे जवळ येतात की ते भिन्न भिन्न मज्जाग्रांवर न पोहोचता एकाच मज्जाग्रावर पडतात. यामुळे मानवी आकृती रूपरेषाविरहित ठिपक्यासारखी दिसते. बहुतेक लोकांच्या बाबतीत ही गोष्ट दर्शनाचा कोन १ कलेइतका कमी झाल्यावर घडते. हा कोन वाढविणे, किंवा दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे मज्जापटलावरील कित्येक संबंधित मज्जाग्रांवर पसरतील अशा तऱ्हेने निरीक्ष्य वस्तूच्या भागांची प्रतिमा मोठी करणे, हा दुर्बिणीचा उद्देश असतो. एखादी दुर्बीण '१०० पट परिवर्धन करते' असे आपण म्हणतो, तेव्हा त्याचा अर्थ हा की विशिष्ट अंतरावरची वस्तू नुसत्या डोळ्यांनी पाहताना दर्शनाचा जो कोन होतो तो दुर्बिणीने पाहताना त्याच्या १०० पट मोठा होतो. परंतु एवढे परिवर्धन होऊनसुद्धा **जर दर्शनाचा कोन १ कलेपेक्षा कमीच राहिला** तर त्याचा अर्थ हा की **ती दुर्बीण ही विशिष्ट वस्तू दाखविण्यास समर्थ नाही.**

१००० पट परिवर्धन करणाऱ्या दुर्बिणीतून चंद्राचा जो सूक्ष्मतम भाग दिसतो तोसुद्धा ११० मीटर व्यासाचा असले हे गणित करून सहज दाखविता येईल. सूर्याच्या बाबतीत तो व्यास ४० कि. मी. असेल. परंतु अगदी निकटतम असलेल्या ताऱ्याच्या बाबतीतसुद्धा हाच व्यास १ कोटी २० लक्ष कि. मी. एवढा प्रचंड होतो!

सूर्याचा व्यास याच्या ८.५ व्या हिश्शाएवढा आहे. तेव्हा **निकटतम** ताऱ्याच्या अंतरावर सूर्य नेऊन ठेवला तर तो १००० शक्तीच्या दुर्बिणीतूनदेखील अगदी सूक्ष्म ठिपक्यासारखा दिसेल. हा निकटतम तारा सूर्यापेक्षा ६०० पट मोठा असला तरच त्याचे बिंब शक्तिशाली दुर्बिणीतून दिसेल. व्याधाच्या

अंतरावर तसा तारा सूर्यापेक्षा ५००० पट मोठा असावा लागेल. बहुतेक तारे याहून पुष्कळच दूर आहेत आणि त्यांचा सरासरी आकारही सूर्यापेक्षा विशेष मोठा नसतो; यामुळे सर्वात शक्तिशाली दुर्बिणीतूनसुद्धा ते बारीक ठिपक्यासारखे दिसतात.

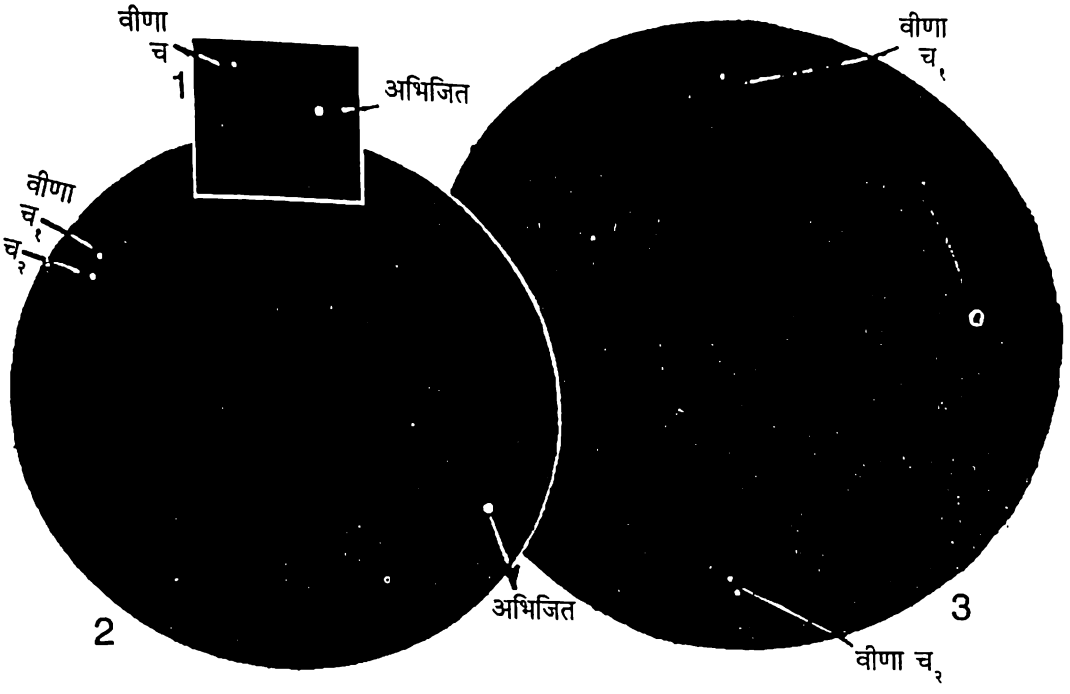
जीन्स म्हणतो, "आकाशातील कोणत्याही ताऱ्याचा कोनात्मक आकार १० कि. मी. दूर ठेवलेल्या टाचणीच्या डोक्याहून मोठा नाही आणि एवढी सूक्ष्म वस्तू बिंबाकार दाखवू शकेल अशी दुर्बीण अद्याप तरी अस्तित्वात नाही." उलट आपल्या सूर्यकुलातील मोठ्या वस्तू दुर्बिणीतून पाहताना, **जेवढे अधिक परिवर्धन तेवढे बिंब अधिक मोठे दिसते. परंतु** आपण पूर्वीच म्हटल्याप्रमाणे याबाबत ज्योतिःशास्त्रापुढे दुसरी अडचण येते. जसजशी प्रतिमा मोठी होत जाते, तसतशी (प्रकाशाची शलाका जास्त भागावर पसरल्यामुळे) **तिची तेजस्विता कमी होत जाते.** आणि प्रतिमा अंधुक असल्यामुळे तपशील ओळखणे कठीण होऊन बसते. म्हणूनच ग्रह आणि विशेषतः धूमकेतू यांचे वेध घेताना ज्योतिःशास्त्री साधारण वर्धनशक्तीचीच दुर्बीण वापरतात.

वाचक विचारतील, जर दुर्बिणीतून तारे मोठे दिसत नाहीत तर दुर्बीण वापरायची कशाला?

आतापर्यंत ह्याविषयी जे काही सांगून झाले आहे ते लक्षात घेता ह्याबद्दल विस्तृत विवेचन करण्याची गरज नाही. ताऱ्यांचे दर्शनीय **आकार** मोठे करून दाखविण्यास दुर्बीण असमर्थ असते हे खरे, पण त्याची **तेजस्विता** ती अवश्य वाढविते आणि परिणामी दृश्य ताऱ्यांची संख्या खूप वाढविते.

दुर्बिणीचा आणखी एक पराक्रम म्हणजे नुसत्या डोळ्यांना जे तारे एकच भासतात ते तारे दुर्बीण **वेगळे करून दाखविते.** ताऱ्याचा दर्शनीय व्यास जरी तिला मोठा करून दाखविता आला नाही तरी ताऱ्यांमधील **दर्शनीय** अंतर ती मोठे करून दाखविते. अशा तऱ्हेने **जेथे नुसत्या डोळ्यांना एकच तारा दिसतो तेथे दुहेरी किंवा त्याहूनही अधिक तारे असल्याचे दुर्बीण दाखविते.** (आकृती ६८). अफाट अंतरामुळे जे ताऱ्यांचे गुच्छ नुसत्या डोळ्यांना पुसट ठिपक्यासारखे दिसतात किंवा अजिबात दिसत नाहीत तेच दुर्बिणीच्या दर्शनक्षेत्रांत हजारो पृथक पृथक ताऱ्यांत विभागलेले आढळतात.

ताऱ्यांचा अभ्यास करण्याच्या क्षेत्रात दुर्बिणीचे तिसरे कार्य म्हणजे तिच्यामुळे ज्योतिःशास्त्रज्ञांना अतिशय सूक्ष्मपणे **कोन मापणे** शक्य होते; मोठ्या आधुनिक दुर्बिणीच्या साहाय्याने घेतलेल्या छायाचित्रांवरून ज्योतिःशास्त्रज्ञ $\frac{१}{१००}$ विकलेएवढा



आकृती ६८ : अभिजित जवळचा एक तारा वीणा 'च' (एन्सिलॉन लायरा)
(१) नुसत्या डोळ्यांनी, 'च' एकच तारा दिसतो.
(२) बायनॉक्युलरमधून 'च'च्या जागीच च$_{१}$, च$_{२}$ हे दोन वेगळे तारे दिसतात.
(३) मोठ्या दुर्बिणीतून च$_{१}$, च$_{२}$ हे दोन्ही जोडतारे असल्याचे दिसते.

बारीक कोन मापू शकतात. एवढ्या कोनाने आपण ३०० किलोमीटर अंतरावरचा पैसा किंवा १०० मीटर दूर ठेवलेला माणसाचा केसदेखील पाहू शकू!

ताऱ्यांचे आकार कसे मापण्यात आले?

वर स्पष्ट केल्याप्रमाणे अत्यंत सामर्थ्यवान दुर्बिणींतूनसुद्धा स्थिर ताऱ्यांचे व्यास पाहता येत नाहीत. अलीकडेपर्यंत ताऱ्यांच्या आकारासंबंधी अनुमाने म्हणजे शुद्ध कल्पनांचे उड्डाण असे. प्रत्येक तारा आकाराने साधारण आपल्या सूर्याएवढा असावा असे गृहीत धरण्यात येत असे, पण त्याला पुरावा काहीच नव्हता आणि ताऱ्यांचे व्यास मापायला त्या वेळच्या दुर्बिणींपेक्षा अधिक सामर्थ्यवान दुर्बिणीची गरज असल्यामुळे ताऱ्यांचे खरे व्यास निश्चित करणे अशक्यच आहे असे वाटत होते.

१९२० पर्यंत ही परिस्थिती होती; त्यानंतर नव्या पद्धती आणि संशोधनाची

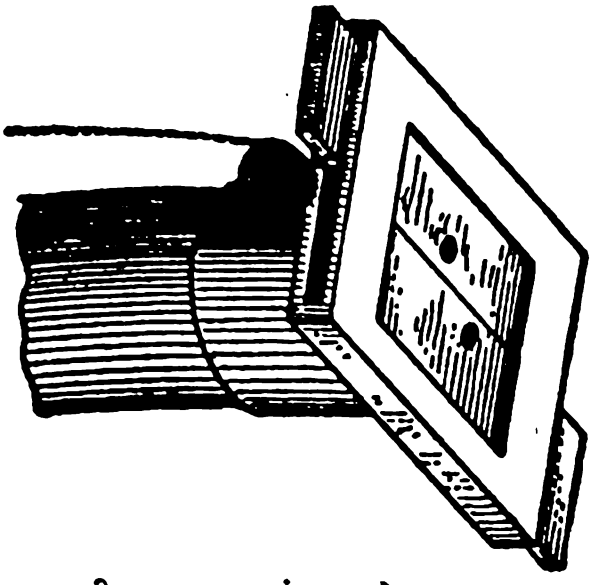
नवी उपकरणे यामुळे परिस्थिती बदलली आणि ज्योति:शास्त्रज्ञांना हे काम हाती घेणे शक्य झाले.

ह्या अगदी अलीकडच्या विक्रमाबद्दल ज्योति:शास्त्र पदार्थविज्ञानाचे ऋणी आहे. पदार्थविज्ञान हे तसे पाहू गेल्यास ज्योति:शास्त्राचा विश्वासू मित्र आहे आणि त्याने ज्योति:शास्त्राची अनेकदा बहुमोल सेवा बजावलेली आहे.

ही पद्धती प्रकाशाच्या व्यतिकरणावर आधारलेली आहे. तिचे आता थोडक्यात वर्णन करू.

ह्या मापनपद्धतीच्या बुडाशी असलेले तत्त्व विशद करण्यासाठी प्रथम आपण एक प्रयोग करू. यासाठी काही साधी उपकरणे हवीत. त्यात एक छोटी ३० शक्तीची दुर्बीण लागेल. नंतर एक तेजस्वी दिवा घेऊन तो १०-१५ मीटर दूर ठेवा, तो एका पडद्याने झाकून टाका. पडद्याला एक अतिशय बारीक उभी चीर पाडा. तिची रुंदी एका मिलिमीटरच्या काही दशांशांहून अधिक असू नये. आता दुर्बिणीच्या भिंगावर एक अपारदर्शक झाकण ठेवा. झाकणाला दोन गोल छिद्रं असावीत, छिद्रांचा व्यास ३ मि.मी. असला पाहिजे, दोहोंतील अंतर १५ मि.मी. हवे आणि दोन्ही छिद्रे समक्षितिज दृष्ट्या भिंगाच्या मध्याशी समप्रमाणात असली पाहिजेत. (आकृती ६९). झाकण दूर केले की दुर्बिणीत एका बारीक पट्टीच्या रूपात चीर दिसते व पट्टीच्या बाजूला त्याहून खूप अंधुक अशा दुसऱ्या पट्ट्या दिसतात. परंतु झाकण भिंगावर ठेवून पाहिले तर मध्यवर्ती तेजस्वी पट्टीवर उभ्या काळ्या फटी दिसतात; झाकणातील दोन छिद्रांतून प्रकाशाच्या ज्या दोन शलाका जातात त्यांच्या व्यतिकरणाचा हा परिणाम होय. जर एक छिद्र बंद केले तर ह्या फटी नाहीशा होतात.

छिद्रांतील अंतर कमी-अधिक करता येईल अशी सोय केली तर आपल्याला असे आढळते की जेवढे त्यांच्यामधील अंतर जास्त तेवढ्या या काळ्या फटी जास्त अंधुक होत जातात आणि अखेर त्या नाहीशाच होतात. छिद्रांमधील अंतर माहीत असल्यास चिरीची कोनिक रुंदी किती, किंवा दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे निरीक्षकाला ही रुंदी केवढा कोन करून दिसते, हे ठरविता येते. त्याच्या जोडीला जर चीर किती अंतरावर आहे हे माहीत असेल तर तिची खरी रुंदीसुद्धा आपणाला काढता येते. चिरीऐवजी लहानसे गोल छिद्र असेल तरीदेखील ह्या 'वर्तुळाकार चिरीची' रुंदी (म्हणजे वर्तुळाचा व्यास) शोधून काढण्याची पद्धती एकच, एवढेच की जो कोन येईल त्याला १.२२ ने गुणले पाहिजे.



आकृती ६९ : ताऱ्यांचा कोनात्मक व्यास मापण्यासाठी 'व्यतिकरणमापक' (इंटरफिरोमीटर) नावाचे उपकरण वापरतात; त्याचे कार्य समजावून देणारी आकृती. (तपशिलासाठी पाठ पहा.)

ताऱ्यांचा व्यास मापण्यासाठी हीच पद्धत वापरतात, परंतु त्यांचा कोनिक व्यास अत्यंत सूक्ष्म असल्यामुळे अत्यंत सामर्थ्यवान दुर्बीण वापरावी लागते.

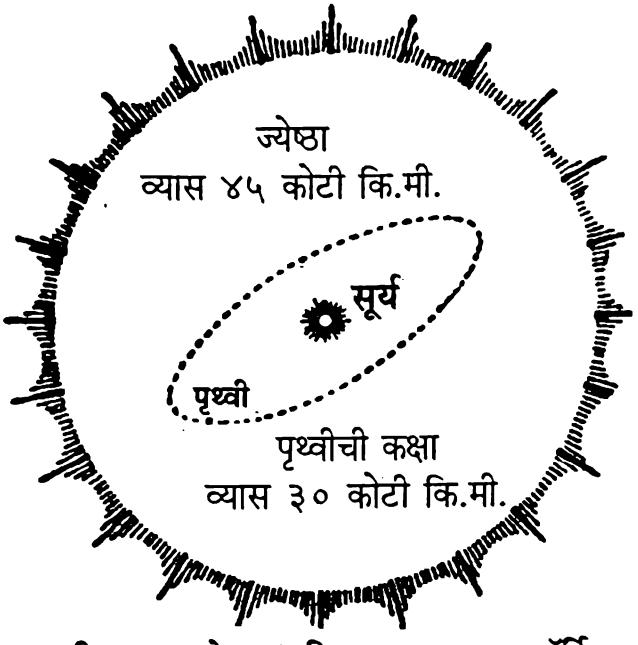
ह्या उपकरणास व्यतिकरणमापक (इंटरफिरोमीटर) असे म्हणतात. **त्याच्याखेरीज ताऱ्यांचे खरे व्यास मापण्याची आणखी एक थोडी आडवळणाची पद्धत आहे, ती ताऱ्यांच्या वर्णपटाच्या संशोधनावर आधारलेली आहे.**

ह्या वर्णपटावरून ज्योतिःशास्त्रज्ञ ताऱ्याचे तापमान ठरवितात आणि त्यावरून त्याच्या पृष्ठभागाच्या १ चौरस से.मी. वरून किती तेज उत्सर्जित होत असावे हे काढतात. याच्या जोडीला तारा किती अंतरावर आहे आणि त्याची दृश्य तेजस्विता केवढी आहे हे माहीत असेल तर त्या दोन गोष्टींवरून ताऱ्याच्या एकूण पृष्ठभागावरून किती तेज उत्सर्जित होत असावे हे त्यांना निश्चित करता येते. या दुसऱ्या संख्येस पहिल्या संख्येने भागले म्हणजे ताऱ्याच्या पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ मिळते आणि त्यावरून त्याचा व्यास मिळतो. उदाहरणार्थ, आता हे सिद्ध झाले आहे की सूर्याच्या व्यासाहून ब्रह्महृदय ताऱ्याचा व्यास १६ पट मोठा आहे; काक्षेयाचा व्यास ३५० पट मोठा आहे; व्याध आणि अभिजित यांचे व्यास २॥ पट मोठे आहेत, तर व्याध्याच्या सहचरीचा व्यास सूर्याच्या व्यासाच्या $\frac{१}{५०}$ आहे.

ताऱ्यांच्या जगातील राक्षस

ताऱ्यांचे व्यास मापले गेले तेव्हा मिळालेली माहिती खरोखर आश्चर्यजनक होती. विश्वात एवढे प्रचंड तारे आहेत याची पूर्वी ज्योतिःशास्त्रज्ञांना कल्पनाच नव्हती. ज्याचा खरा व्यास प्रथम (१९२० साली) मापण्यात यश आले असा तारा म्हणजे काक्षेय, **मृगातील क तारा** (आल्फा ओरायनिस.). **त्याचा एकट्याचा**

व्यास मंगळाच्या कक्षेच्या व्यासाहून मोठा निघाला. दुसरा एक राक्षसी तारा म्हणजे वृश्चिक राशीतला ज्येष्ठा तारा. त्याचा व्यास पृथ्वीकक्षेच्या व्यासाच्या दीड पट आहे. (आकृती ७०). आतापर्यंत सापडलेल्या राक्षसी ताऱ्यांत खास उल्लेख करण्याजोगा एक तारा म्हणजे तिमिंगल (सीट्स) पुंजातला मिरा (विस्मयकारी) तारा. त्याचा व्यास सूर्याच्या व्यासापेक्षा ४०० पट मोठा आहे!



आकृती ७० : ज्येष्ठा (वृश्चिक क, आल्फा स्कॉर्पिआय्) हा राक्षसी तारा पृथ्वीच्या कक्षेसकट सूर्याला पोटात घालू शकेल!

आता ह्या राक्षसी ताऱ्यांच्या भौतिक रचनेसंबंधी चार शब्द. गणनेवरून असे दिसते की ह्या ताऱ्यांचे आकार राक्षसी असले तरी त्या मानाने त्यांच्यातील द्रव्य बरेच कमी आहे. ते सर्व सूर्यापेक्षा थोड्याच पटीने जड असतात; उदाहरणार्थ, ज्या अर्थी काक्षेय तारा सूर्याहून आकाराने ४ कोटी पट मोठा आहे त्या अर्थी त्याची घनता फारच कमी असली पाहिजे. सूर्यातील द्रव्याची घनता सरासरी मानाने पाण्याएवढी आहे त्या अर्थी अशा राक्षसी ताऱ्यांतील द्रव्य विरळ हवेच्या स्वरूपाचे असले पाहिजे. एका ज्योतिःशास्त्रज्ञाने म्हटलेच आहे की हे तारे म्हणजे 'हवेच्या घनतेहूनही पुष्कळ कमी घनता असलेल्या प्रचंड फुग्यांसारखे' आहेत!

अनपेक्षित उत्तर

आकाशातील एकूण सर्व ताऱ्यांच्या दृश्य प्रतिमा जोडून ठेवल्या तर त्या किती जागा व्यापतील हे जाणून घेणे यासंबंधाने मनोरंजक होईल.

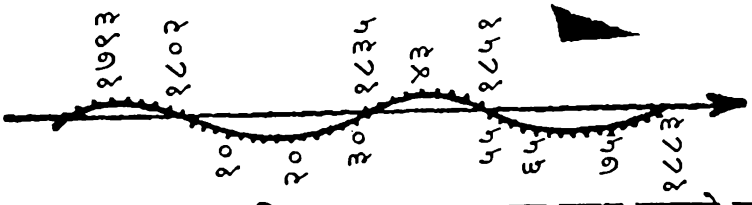
दुर्बिणीच्या आटोक्यातील सर्व ताऱ्यांची एकूण तेजस्विता एका -६.६ प्रतीच्या ताऱ्याएवढी आहे हे आपणास माहीत आहेच. (वर पहा.) अशा ताऱ्याचे तेजोमान सूर्याहून २० तारकात्मक प्रतींनी जास्त अंधुक आहे, दुसऱ्या

शब्दांत सांगावयाचे म्हणजे त्यांच्यापासून मिळणारा प्रकाश सूर्याच्या प्रकाशाहून १० कोटीपट कमी आहे असे गृहीत धरल्यास आपल्या काल्पनिक ताऱ्याचा दर्शनीय विस्तार सूर्याच्या दर्शनीय विस्ताराहून वर दिलेल्या संख्येच्या प्रमाणात कमी असला पाहिजे असे गृहीत धरता येते. वर्तुळांचे व्यास त्यांच्या क्षेत्रफळाच्या वर्गमुळांच्या प्रमाणात असतात. त्या अर्थी आपल्या ताऱ्याचा दर्शनीय व्यास सूर्याच्या दर्शनीय व्यासाचा दशसहस्रांश भाग असायला पाहिजे, म्हणजे $\frac{३०'}{१००००} \simeq ०''.२$.

हे उत्तर विस्मयजनक आहे. एकूण सर्व ताऱ्यांचा एकूण दर्शनीय विस्तार ०.२ विकला कोनिक व्यासाच्या बिंबाएवढीच जागा व्यापेल! आकाशाचा एकूण विस्तार ११,२५३ चौरस अंशाएवढा आहे; यावरून आपण सहज दाखवू शकतो की दुर्बिणीतून दिसणारे तारे समग्र आकाशाचा फक्त $\frac{१}{२०}$ अब्ज एवढाच भाग व्यापतात!

सर्वात जड पदार्थ

विश्वाच्या पोटात जी अनेक आश्चर्ये दडलेली आहेत, त्यामध्ये व्याधासमीपच्या एका चिमुकल्या ताऱ्याला कायमचे मानाचे स्थान मिळण्याचा संभव आहे. ह्या ताऱ्यांचे द्रव्य पाण्याहून ६०,००० पट जड आहे! पाऱ्याने भरलेला पेला हातात घेतला तर त्याच्या वजनाने—ते साधारण ३ किलोग्राम असेल—आपण



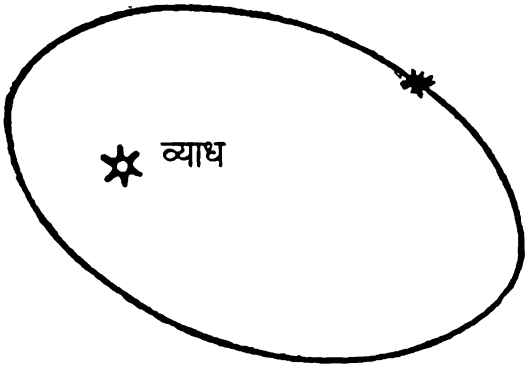
आकृती ७१ : सन १७९३ आणि १८८३ या दरम्यान व्याध ताऱ्याने तारांगणात केलेल्या प्रवासाचा मार्ग.

चकित होतो. पण ज्या द्रव्याचा एक पेला वजनात १२ टन भरतो आणि रेल्वेच्या डब्यातून न्यावा लागतो अशा द्रव्याला तुम्ही काय म्हणाल? ही गोष्टच असंभाव्य वाटते, नाही का? परंतु ज्योतिःशास्त्राचा हा अलीकडचा एक शोध आहे.

प्रसंगवशात हेही सांगितले पाहिजे की ह्या **शोधामागे एक दीर्घ आणि उद्‌बोधक इतिहास** आहे. बहुतेक ताऱ्यांची गती सरळ असते परंतु तेजस्वी व्याधाचा तारांगणांतील मार्ग मात्र सरळ रेषेत नसतो, तो जरा विचित्र नागमोडी

रेषेत फिरत असतो ही गोष्ट फार पूर्वीच लक्षात आली होती. (आकृती ७१). त्याच्या गतीच्या ह्या लक्षणाचा अर्थ लावण्यासाठी प्रसिद्ध ज्योतिःशास्त्रज्ञ बेसेल याने असे अनुमान मांडले की व्याधासमवेत एखादी सहचरी तारा असावी व तिच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे व्याधाचे मार्गस्खलन होत असावे. १८४४ सालची ही गोष्ट आहे. म्हणजे 'लेखणी'च्या साहाय्याने नेपच्यूनचा शोध लागण्याच्या २ वर्षे अगोदरची. १८६२ साली, बेसेलच्या मृत्यूनंतर, व्याधाची ही सहचरी दुर्बिणीत नजरेस पडली आणि बेसेलचे अनुमान पूर्णपणे सत्य ठरले.

'व्याध ब' ह्या नावाने ओळखली जाणारी ही सहचरी तारा आपल्या प्रधान ताऱ्याभोवती म्हणजे व्याधाभोवती ४९ वर्षांत एक प्रदक्षिणा पूर्ण करते व ती व्याधापासून पृथ्वी-सूर्य अंतरापेक्षा २० पट अंतरावर असते. (म्हणजे यूरेनस सूर्यापासून ज्या अंतरावर आहे, जवळ जवळ तेवढेच अंतर.) (आकृती ७२). ही तारा बरीच अंधुक म्हणजे ८ व्या किंवा ९ व्या प्रतीची तारा असली तरी



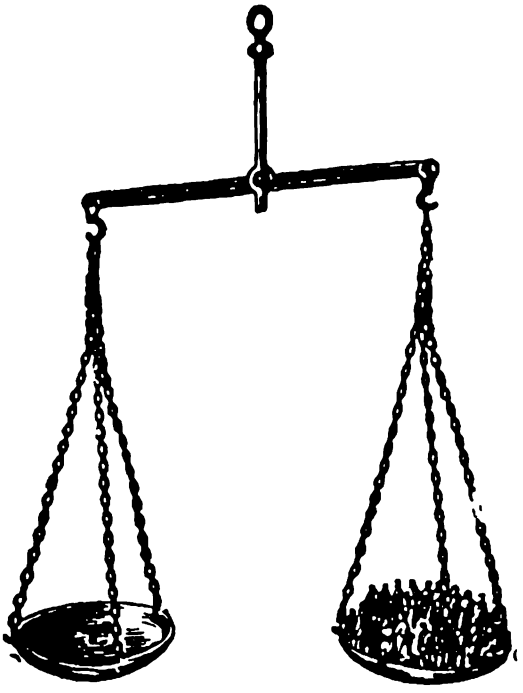
आकृती ७२ : व्याधाच्या सहचरी तारेची व्याधाभोवतालची कक्षा (या चित्रात व्याध दर्शनीय विवृत्ताच्या केंद्रस्थानी दिसत नाही याचे कारण प्रलंबाकृतीत मूळचे खरे विवृत्त विकृत झाले आहे. चित्रात आपणाला ते कललेल्या स्थितीत दिसत आहे.)

तिचे वस्तुमान आश्चर्यजनक आहे; ते सूर्याच्या वस्तुमानाच्या $\frac{४}{५}$ आहे. जर सूर्य व्याध्याएवढा दूर असता तर तो १.८ प्रतीचा ताऱ्याएवढा तेजस्वी दिसला असता. म्हणून व्याधाच्या सहचरीच्या क्षेत्रफळाचे व सूर्याच्या क्षेत्रफळाचे प्रमाण दोहोंच्या वस्तुमानांच्या प्रमाणातच असते तर, दोहोंचे तापमान समान धरल्यास या सहचरीचे दर्शन ठोकळ मानाने २ ऱ्या प्रतीची तारा म्हणून घडावयास हवे होते; ८ व्या अगर ९ व्या प्रतीची तारा म्हणून नव्हे. तेव्हा तिच्या पृष्ठभागाचे तापमान बरेच कमी असावे असे धरून तिच्या अंधुक तेजाचा अर्थ लावण्याचा प्रयत्न प्रथम ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी केला. ही सहचरी म्हणजे कठीण पापुद्र्याचा

थंड पडलेला सूर्य असावा असा विचार रूढ झाला.

परंतु हे अनुमान चूक ठरले. ३० वर्षांपूर्वी असे प्रत्ययास आले की व्याधाची ही विनयशील सहचरी म्हणजे निस्तेज होत चाललेली एखादी क्षीण तारा तर नाहीच, उलट सूर्यापेक्षाही पुष्कळ जास्त असे अत्युच्च तापमान पृष्ठभागी असणाऱ्या तारांपैकी ती एक आहे! अर्थात यामुळे सगळेच चित्र पालटले आणि सहचरी तारेचा अंधुकपणा केवळ त्याचा पृष्ठ-विस्तार लहान असल्यामुळेच संभवतो असे मानण्यास कारण मिळाले. गणनेवरून दिसते की तिचे प्रकाश-उत्सर्जन सूर्यापेक्षा ३६० पट कमी आहे; त्या अर्थी तिचे क्षेत्रफळ सूर्याहून निदान ३६० पट लहान असले पाहिजे आणि तिचा व्यास सूर्य-व्यासाच्या $\sqrt{३६०}$ म्हणजे १९ व्या हिश्शाएवढा हवा. निष्कर्ष हा निघतो की व्याधाच्या सहचरीचे घनफळ सूर्याच्या घनफळाच्या $\frac{१}{६८००}$ पेक्षा कमी आहे, तिचे वस्तुमान मात्र सूर्याच्या $\frac{४}{५}$ आहे. ही एकच गोष्ट या तारेच्या द्रव्याची घनता फार जड असल्याचे दर्शविते. जास्त अचूक गणितावरून कळते की या सहचरीचा व्यास फक्त ४०,००० कि.मी. आहे. म्हणून तिची घनता पूर्वी म्हटल्याप्रमाणे राक्षसी असली पाहिजे, पाण्याच्या घनतेहून ६०,००० पट मोठी असली पाहिजे. (आकृती ७३).

"पदार्थविज्ञानशास्त्रज्ञांनो, कान टवकारून लक्ष द्या, तुमच्या साम्राज्यावर लवकरच आक्रमण होणार आहे!" केप्लरचे हे शब्द दुसऱ्या संदर्भात उच्चारलेले असले तरी या ठिकाणी आठवतात. खरोखर पदार्थविज्ञानशास्त्रज्ञांच्या कल्पनेतही अशी गोष्ट नव्हती; साधारण स्थितीत अशा राक्षसी घनतेची कल्पनाच करता येत नाही; घन द्रव्यामधील सामान्य अणूंच्या मधली जागा एवढी सूक्ष्म आहे की विशेष संकोचन होऊच शकत नाही. परंतु अणुकेंद्राभोवती फिरणारे इलेक्ट्रॉन ज्यातून निघून गेले आहेत अशा खंडित अणूंची गोष्ट वेगळी. इलेक्ट्रॉन गेल्याने अणूचा व्यास कित्येक सहस्रपट कमी होतो, पण अणूच्या वस्तुमानावर मात्र जवळ जवळ काहीच परिणाम होत नाही; इलेक्ट्रॉन-विरहित अणूकेंद्र नेहमीच्या अणूपेक्षा फारच लहान असते, एखाद्या प्रचंड इमारतीत एक माशी असावी तेवढे! तारका-गोलाच्या खोल अंतर्भागात जबरदस्त दाब असतो; खंडित अणूकेंद्रे या दाबामुळे नेहमीच्या अणूंपेक्षा एकमेकांपासून हजारोपट जवळ येतात आणि त्यातून व्याधाच्या सहचरीवर आढळलेल्या द्रव्यासारखे आश्चर्यजनक घनतेचे द्रव्य तयार होते. याबाबतीत **व्हान-मानेन** नावाच्या ताऱ्याने तर व्याधाच्या सहचरालादेखील मागे टाकले आहे. **हा तारा** १२ व्या प्रतीचा आहे आणि



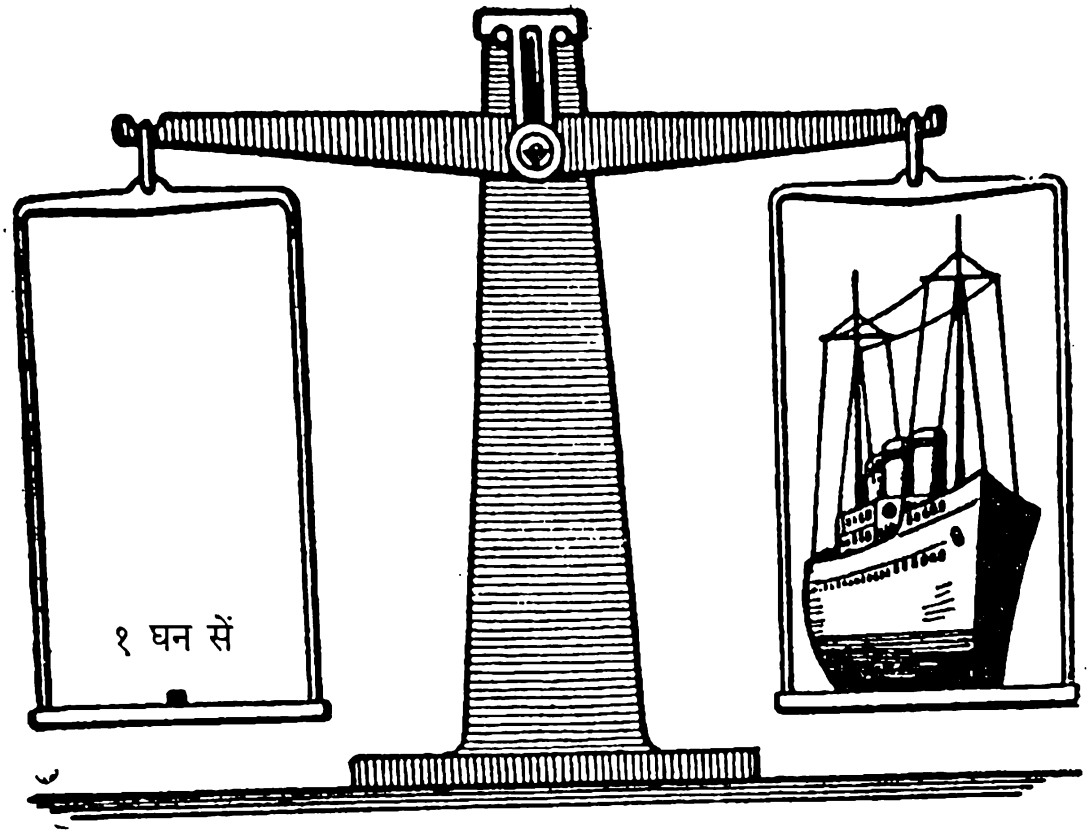
आकृती ७३: व्याधाची सहचरी तारा, पाण्याहून ६०,००० पट अधिक घन असलेल्या द्रव्याची बनलेली आहे! त्या द्रव्याच्या थोड्या घन सेंटीमीटर भागाचे वजन ३० माणसांएवढे होईल!

आकाराने पृथ्वीहून मोठा नाही पण **त्याच्या द्रव्याची घनता मात्र पाण्याच्या घनतेहून ४ लक्ष पट आहे!**

पण ही घनतेची पराकाष्ठा झाली असे नाही. तात्त्विकदृष्ट्या याहून पुष्कळ अधिक घन पदार्थ अस्तित्वात असल्याचे आपण गृहीत धरू शकतो. अणुकेंद्राचा व्यास अणूच्या व्यासाचा १०,००० वा हिस्सा असतो आणि म्हणून त्याचे घनफळ अणूच्या घनफळाचा १००० अब्जावा हिस्सा असतो. म्हणजे एक घन मीटर धातूमध्ये अणूकेंद्रे फक्त $\frac{१}{१०००}$ घन मिलीमीटर एवढी असतात, परंतु धातूचे सारे वस्तुमान तेवढ्या सूक्ष्म आकारांत सामावलेले असते. म्हणून केवळ अणुकेंद्रे १ घन से.मी. एवढी घेतल्यास त्यांचे वजन साधारण १ कोटी टन व्हायला पाहिजे.

एवढे ऐकल्यावर व्याधाच्या सहचरीहून ५०० पट अधिक सरासरी घनता असलेल्या ताऱ्याचा शोध लागला असल्याचे ऐकून नवल वाटणार नाही. १९३५ सालच्या शेवटास शर्मिष्ठा पुंजात जो एक १३ व्या प्रतीचा चिमुकला तारा सापडला तो माझ्या मनात आहे. आकाराने तो पृथ्वीच्या $\frac{१}{२}$ आहे म्हणजे मंगळाएवढा आहे. पण त्याचे वस्तुमान मात्र सूर्याच्या तिप्पट (अचूक म्हणजे

२.८ पट) आहे. नेहमीच्या वापरातल्या एकमानात त्याची सरासरी घनता दर घन. सें.मी. ला ३ कोटी ६० लक्ष ग्रॅम होईल. याचा अर्थ असे द्रव्य १ घन सें.मी. असल्यास त्याचे वजन पृथ्वीवर ३६ टन होईल! म्हणजे त्याची घनता



आकृती ७४ : अणुकेंद्राचा साधा ढीग करून त्यातून १ घन सें.मी. द्रव्य घेतल्यास त्याचे वजन अटलांटिक महासागरात फिरणाऱ्या मोठ्या बोटीएवढे होईल. तीच घट्ट दाबून त्यांतून १ घन सें.मी. द्रव्य घेतल्यास त्याचे वजन १ कोटी टन होईल!

सोन्याच्या घनतेहून जवळ जवळ २० लक्ष पट मोठी आहे.* ह्या द्रव्याच्या १ सें.मी. तुकड्याचे वजन खुद्द त्या ताऱ्यावर काय होईल ते आपण प्रकरण ५ मध्ये पाहू..

प्लॅटिनमपेक्षा लाखोपट घनता असणारे द्रव्य असू शकेल ही कल्पना काही वर्षांपूर्वी शास्त्रज्ञांनी साफ फेटाळून लावली असती.

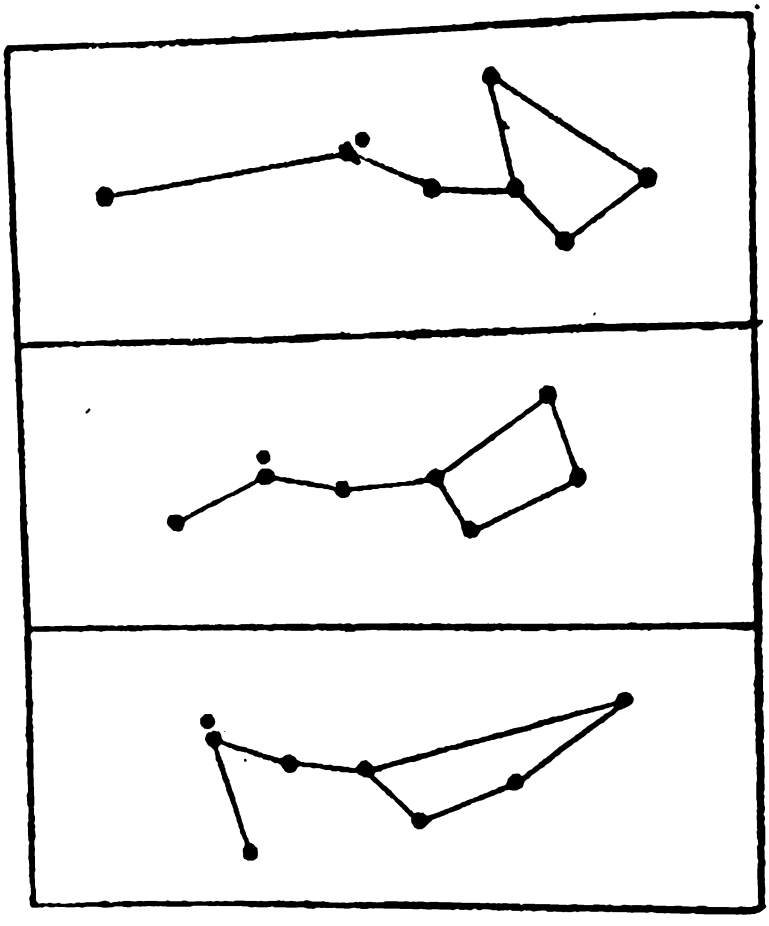
परंतु विश्वाच्या अनंत पसाऱ्यात अशा प्रकारची कित्येक आश्चर्ये पसरली असतील हे सहज शक्य आहे.

---

* ह्या ताऱ्याच्या मध्यातली घनता कल्पनातीत म्हणजे साधारपणे दर घन से.मी. ला १०० कोटी ग्रॅम असेल.

ताऱ्यांना स्थिर ज्योती कां म्हणतात?

आपल्या पूर्वजांनी ताऱ्यांना स्थिर म्हटले तेव्हा त्यांना या गोष्टीवर भर द्यायचा होता की ग्रहांच्या उलट ताऱ्यांचे वर्तन आहे. ग्रह फिरत असतात तर तारे आकाशात एकाच जागी स्थिर असतात. स्वाभाविकपणे ते पृथ्वीभोवतालच्या खगोलाच्या दैनिक भ्रमणात भाग घेतात, परंतु ह्या भासमान गतीचा त्यांच्या सापेक्षिक स्थितीवर परिणाम होत नाही. याउलट ग्रह मात्र ताऱ्यांना अनुलक्षून

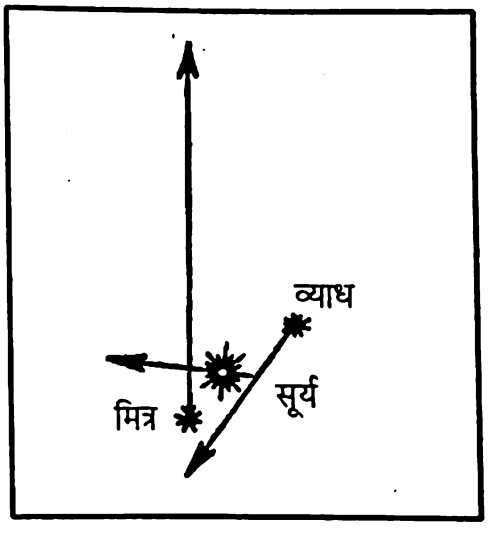


आकृती ७५ : युगांमागून युगे लोटत जातात तसतसे तारकापुंजांचे आकार हळूहळू बदलत जातात. वरील ३ आकृतीपैंकी मधली आकृती सप्तर्षींचा आजचा आकार दाखविते; वरची आकृती त्यांचा १ लाख वर्षांपूर्वीचा आकार दाखविते, तर खालची आकृती पुढच्या १ लाख वर्षांनंतरचा आकार दाखविते.

आपले स्थान सतत बदलत असतात, ताऱ्यांमध्ये भटकत असतात आणि यामुळे प्राचीन काळी त्यांना 'चर ज्योती' हे नाव पडले. (इंग्रजी शब्द प्लॅनेट. याचा मूळ ग्रीक अर्थ 'फिरणारे तारे' असाच आहे.).

आधुनिक कालात राहणाऱ्या आपणास माहीत आहे की अचल ताऱ्यांचा समूह म्हणून रंगविलेले हे तारकाविश्वाचे चित्र साफ चुकीचे आहे. सूर्यासहित **सर्व तारे** एकमेकांस अनुलक्षून **सरासरी दर सेकंदास ३० कि.मी. या वेगाने फिरत असतात;*** आपल्या ग्रहाचा कक्षाभ्रमणाचा वेग एवढाच आहे नव्हे का? म्हणजे तारे कुठल्याही प्रकारे ग्रहांपेक्षा कमी गतिमान नाहीत. खरे म्हणजे ग्रहमालेत कुठेच नाहीत असे प्रचंड वेग ताऱ्यांच्या विश्वात आपल्याला कधी कधी आढळतात. आपल्या सूर्याला अनुलक्षून दर सेकंदास २५०.३०० कि.मी. एवढ्या प्रचंड वेगाने फिरणारे 'तुफानी' तारेदेखील ज्योति:शास्त्रज्ञांना माहीत आहेत. पण जर सर्वच दृश्य तारे एवढ्या प्रचंड वेगाने इतस्तत: पळत असतील आणि वर्षाकाठी कोट्यवधी मैल अंतर कापत असतील तर **ही पळापळ आपल्याला दिसत का नाही?** तारकामय आकाश म्हटले की भव्य अचलतेचे चित्र आपल्यापुढे का उभे राहते?

कारण साधे आहे व ते म्हणजे **ताऱ्यांचे अफाट अंतर.** दूर क्षितिजाजवळ चाललेली आगगाडी तुम्ही कधी उंचावरून पाहिली आहे का? ती मेलगाडी कासवाच्या गतीने हळहळू पुढे सरकत आहे असाच भास होत नाही का? जवळून जी गती प्रचंड वाटते तीच दुरून गोगलगाईच्या गतीसारखी वाटते. ताऱ्याच्या गतीचे असेच आहे; फरक इतकाच की या ठिकाणी गतिमान वस्तू निरीक्षकापासून अनंतपटीने जास्त अंतरावर आहे. सर्वात तेजस्वी दिसणारे तारे सरासरी मानाने इतरांहून पुष्कळ जवळ आहेत; (कॅप्टीनच्या मतानुसार) ते आपल्यापासून केवळ ८ लक्ष अब्ज किलोमीटर अंतरावर आहेत; ते वर्षात फक्त एक अब्ज कि.मी. म्हणजे मधल्या अंतराच्या फक्त एकआठलक्षांश हिश्शाने सरकतात. हा स्थानबदल पृथ्वीवर दिसतो तो फक्त ०.२५ विकलांचा कोन करून. सर्वात नाजूक असे ज्योति:शास्त्रीय उपकरणदेखील जेमतेम याचा छडा लावू शकेल. नुसत्या डोळ्यांना

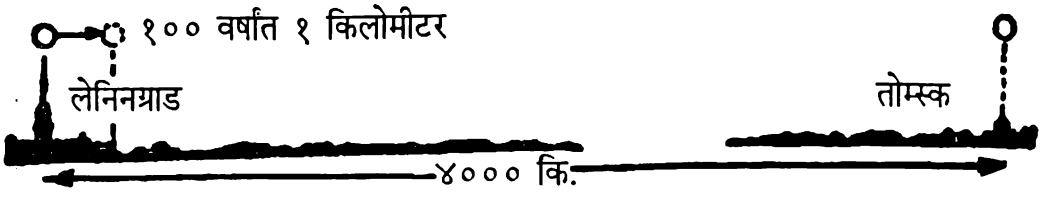


आकृती ७६ : सूर्य, मित्र आणि व्याध ह्या तीन शेजारी ताऱ्यांच्या गतींच्या दिशा.

* या ठिकाणी फक्त 'आपले' तारकामय द्वीप 'आकाशगंगा' अभिप्रेत आहे.

तर हा बदल दिसणारच नाही, शेकडो वर्षे लक्षात येणार नाही. अतिशय संवेदनाक्षम अशा उपकरणांनी अत्यंत काळजीपूर्वक वेध घेण्यात आले तेव्हाच अनेक ताऱ्यांची गती कळून आली.

म्हणून नुसत्या डोळ्यांनी केलेल्या निरीक्षणापुरतेच आपण बोलतो तेव्हा ताऱ्यांना अचल म्हणणे, प्रत्यक्षात त्यांची गती अतिशय जलद असूनही त्यांना ते नाव देणे पूर्णतया समर्थनीय आहे. आतापावेतो जे काही सांगितले त्यावरून ताऱ्यांचा वेग अतिप्रचंड असूनही ताऱ्यांची टक्कर होणे किती असंभवनीय आहे हे लक्षात येईल.



आकृती ७७ : तारका गतींचे प्रमाण दाखवणारी आकृती. लेनिनग्राड आणि तोम्स्क या शहरांत एक एक लहान चेंडू ठेवला आहे व हे दोन चेंडू १०० वर्षांत एक किलोमीटर या गतीने एकमेकांजवळ सरकत आहेत. दोन ताऱ्यांच्या परस्परांजवळ जाण्याच्या गतीचे प्रमाण सूक्ष्मरूपाने यासारखेच आहे. तारे एकमेकांवर आदळण्याची शक्यता किती अत्यल्प आहे हे यावरूनन लक्षात येईल.

ताऱ्यांच्या अंतरांची परिमाणे

किलोमीटर, नाविक मैल (१८५२ मी.) आणि भौगोलिक मैल (चार नाविक मैल) ही आपली लांबी मोजण्याची महत्तम परिमाणे पृथ्वीवर सोयीची असली तरी आकाशीय अंतरे मोजण्यास ती उपयोगी नाहीत. रेल्वे लाईनची लांबी मोजण्याला मिलिमीटरचे माप जेवढे सोयीचे तेवढीच ही परिमाणे आकाशीय अंतर मापण्यास सोयीची. गुरू ते सूर्य हे अंतर ७८०,०००,००० कि.मी. आहे. लेनिनग्राड ते मॉस्को हे अंतर मिलिमीटरमध्ये मोजल्यास ६४०,०००,००० भरेल.

तेव्हा शून्यांची लांबलचक मालिका लिहिण्याचे टाळण्यासाठी ज्योतिःशास्त्रज्ञ त्याहून खूप मोठी अशी लांबीची एकमाने वापरतात. **सूर्यमालेच्या मर्यादेमधील अंतर मोजताना सूर्य व पृथ्वी यामधील सरासरी अंतर** म्हणजे १४९,५००,००० कि.मी. हे एकमान धरण्यात येते. यालाच **'ज्योतिःशास्त्रीय एकमान' म्हणतात.** ह्या एकमानात मोजल्यास गुरू ते सूर्य हे अंतर ५.२ भरते. शनी ते सूर्य हे अंतर ९.५४ आणि बुध-सूर्य अंतर ०.३८७ ज्यो.ए.भरते.

पण आपला सूर्य व इतर सूर्य यांमधील अंतर मोजताना हे एकमानही फार लहान पडते. उदाहरणार्थ, सर्वात निकटच्या ताऱ्याचे (नरतुरंग पुंजांतील* निकट हा लालसर ११ व्या प्रतीचा तारा;) अंतर ह्या एकमानात २,६०,००० भरते.

परंतु हा तर निकटतम तारा झाला, बाकीचे त्याहून खूप लांब आहेत. त्या अंतरांचे आकडे लक्षात ठेवून त्यांचा उपयोग करणे मोठी एकमाने वापरल्यास बरेच सोपे होते. ज्योतिःशास्त्रांतील लांबीची अजस्र एकमाने म्हणजे 'प्रकाश वर्ष' आणि 'पार्सेक' ही होत. पैकी पार्सेक आता अधिक प्रचारात येत आहे.

प्रकाशकिरण अवकाशामध्ये एका वर्षात जेवढे अंतर कापतात त्या अंतरास 'प्रकाशवर्ष' म्हणतात. सूर्यकिरणांस पृथ्वीवर पोहोचायला अवघी ८ मिनिटे लागतात यावरून हे एकमान केवढे मोठे आहे ते लक्षात येईल. त्याचा अर्थ आठ मिनिटांहून एक वर्ष जेवढ्या पटीने मोठे आहे, तेवढ्या पटीने एक प्रकाशवर्ष पृथ्वीकक्षेच्या त्रिज्येहून मोठे आहे. हेच अंतर किलोमीटरमध्ये ९,४६०,०००,०००,००० एवढे भरेल; त्या अर्थी एक प्रकाशवर्ष म्हणजे जवळ जवळ ९॥ हजार अब्ज किलोमीटर!

ताऱ्यांची अंतरे मोजण्याच्या कामी ज्योतिःशास्त्रज्ञांच्या वापरातले दुसरे एकमान म्हणजे पार्सेक. ह्याचे मूळ थोडे अधिक गुंतागुंतीचे आहे. **पृथ्वीचा अर्धव्यास ज्या अंतरावरून पाहिल्यास एक विकलेचा कोन करतो त्या अंतरास 'पार्सेक' म्हणतात.** ज्योतिःशास्त्रात, कोणत्याही ताऱ्यावरून पाहताना पृथ्वीचा अर्धव्यास जो कोन करतो त्याला त्या ताऱ्याचे 'वार्षिक लंबन' म्हणतात. सेंकद (विकला) आणि पॅरॅलॅक्स (लंबन) हे दोन शब्द एकत्र घेऊन पार्सेक शब्द झाला आहे. मित्र (नरतुरंग क) ताऱ्याचे लंबन ०.७६ विकला आहे. त्यावरून सहज कळते की तो १.३१ पार्सेक अंतरावर आहे. १ पार्सेक अंतर पृथ्वी-सूर्य अंतरापेक्षा २०६,२६५ पटीने मोठे होय हे सहज शोधून काढता येते.

लांबीच्या इतर परिमाणांशी पार्सेकचा संबंध खालीलप्रमाणे आहे :

१ पार्सेक = ३.२६ प्रकाशवर्षे = ३०,८००,०००,०००,००० कि.मी.

पार्सेक आणि प्रकाशवर्षे या परिमाणांनी मोजल्यास काही तेजस्वी ताऱ्यांची अंतरे खालीलप्रमाणे आहेत.

---

* 'मित्र' हा तेजस्वी तारा (नरतुरंग क, आल्फा सेंटारी) त्याच्या अगदी जवळ आहे.

	पार्सेक		प्रकाशवर्षे
मित्र	... ...	१.३१	... ...	४.३
व्याध	... ...	२.६७	... ...	८.७
प्रश्वा	... ...	३.३९	... ...	११.०
श्रवण	... ...	४.६७	... ...	१५.२

तुलनात्मकदृष्ट्या हे जवळचे तारे होत. त्यांचे अंतर किलोमीटरमध्ये काढण्यासाठी पहिल्या स्तंभातील आकड्यास ३०,००० अब्जांनी गुणायला पाहिजे, यावरून हे तारे किती 'जवळ' आहेत हे लक्षात येईल. परंतु तारकाविषयक ज्योतिःशास्त्रांत याहूनही मोठी परिमाणे आहेत. जेव्हा ज्योतिःशास्त्रज्ञ **तारकागुच्छांची अंतरे** आणि आकार मोजू लागले तेव्हा त्यांना अधिक मोठ्या परिमाणाची गरज भासू लागली. हे तारकागुच्छ म्हणजे विश्वातील 'विश्वे' होत व त्यांत कोट्यवधी तारे असतात. ज्याप्रमाणे मीटरपासून किलोमीटर हे मोठे परिमाण तयार होते, तद्वत पार्सेकपासून किलोपार्सेक हे परिमाण तयार होते. **एक किलोपार्सेक म्हणजे १०० पार्सेक,** किंवा ३० कोटी ८ लक्ष अब्ज किलोमीटर. ह्या परिमाणांत सांगायचे तर आकाशगंगेचा व्यास ३० किलोपार्सेक आहे आणि देवयानी तेजोमघ आपणांपासून साधारण ३०० किलोपार्सेक अंतरावर आहे.

परंतु लवकरच किलोपार्सेक हे परिमाण अपुरे पडू लागले आणि ज्योतिःशास्त्रज्ञांना मेगापार्सेक हे परिमाण आणावे लागले. **एक मेगापार्सेक म्हणजे दहा लक्ष पार्सेक.**

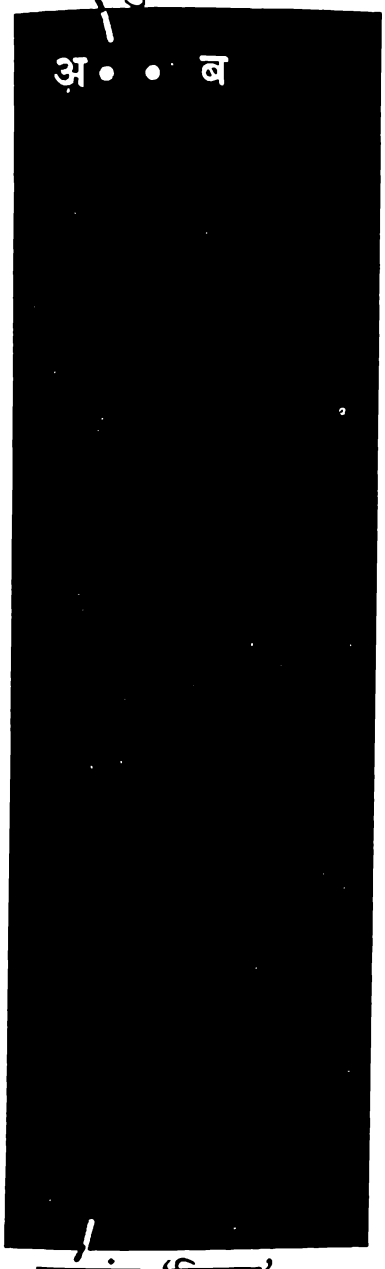
तारकाविषयक लांबीच्या परिमाणांचे कोष्टक खालीलप्रमाणे आहे :

१ मेगापार्सेक	=	१० लक्ष पार्सेक
१ किलोपार्सेक	=	१ हजार पार्सेक
१ पार्सेक	=	२०६, २६५ ज्योतिःशास्त्रीय एकमाने
१ ज्यो. एकमान	=	१४९, ५००,००० किलोमीटर.

मेगापार्सेकची कल्पना डोळ्यांपुढे आणणे अशक्य आहे. एक किलोमीटर अंतर माणसाच्या केसाच्या जाडीएवढे ($\frac{१}{२०}$मिलीमीटर) धरले तरीसुद्धा मेगापार्सेक मानवी कल्पनाशक्तीच्या आटोक्याबाहेर आहे; कारण त्या प्रमाणातदेखील १ मेगापार्सेक १ अब्ज ५० कोटी किलोमीटर एवढा म्हणजे पृथ्वी-सूर्य अंतराच्या दसपट होईल!

मेगापार्सेकच्या प्रचंडपणाची कल्पना करण्यास वाचकास खालील तुलनेची

मदत होईल. कोळ्याच्या जाळ्याचा अतिशय तलम धागा घ्या, तो जर लेनिनग्राडपासून मॉस्कोपर्यंत नेला तर तेवढ्या धाग्याचे वजन १० ग्रॅम होईल, तोच धागा पृथ्वीपासून चंद्रापर्यंत नेला तर त्याचे वजन ६ किलोग्रॅम होईल, तो सूर्यापर्यंत नेला तर तेच वजन २.३ टनावर जाईल. पण तोच धागा जर एक मेगापार्सेक लांब नेला तर तेवढ्या धाग्याचे वजन किती होईल? ५०० अब्ज टन!



आकृती ७८ : सूर्याच्या सर्वांत समीप असलेला तारकासमूह — मित्र किंवा नरतुरंग क, अ आणि ब दोन्ही तारा धरून आणि नरतुरंग निकट.

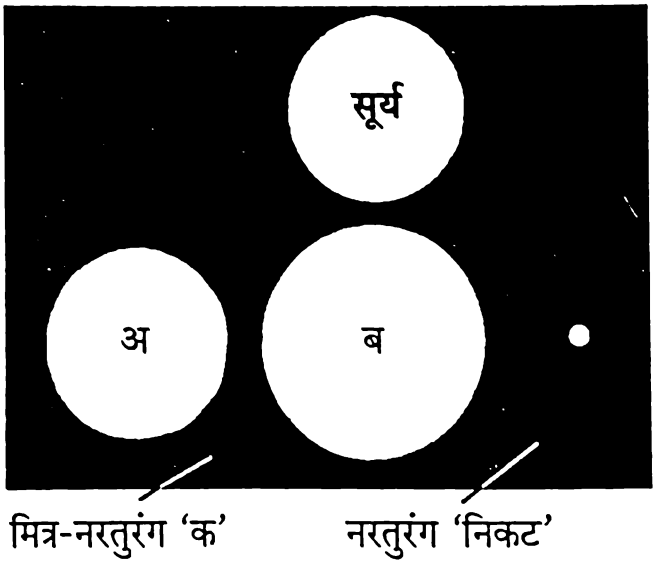
निकटतम तारका समूह

बऱ्याच काळापूर्वी, साधारण एक शतकापूर्वीच ही गोष्ट सिद्ध झाली होती की दक्षिण खगोलार्धामधील नरतुरंग (सेंटॉरस) पुंजामधील पहिल्या प्रतीचा जोडतारा हाच आपल्यापासून सर्वात जवळचा तारकासमूह आहे. हाच **मित्र किंवा नरतुरंग क.** अलीकडच्या वर्षात ह्या समूहाविषयी आणखी काही मनोवेधक ज्ञान उपलब्ध झाले आहे. मित्र ताऱ्याजवळच एक छोटा ११व्या प्रतीचा तारा सापडला. तो आणि मित्र ताऱ्यांमधील दोन जोडतारका मिळून एक तिहेरी तारकासमूह होतो. हा तिसरा तारा २ अंश अंतरावर असूनही प्राकृतिकदृष्ट्या 'नरतुरंग क'चाच सदस्य आहे ही गोष्ट तिघांच्या गतिसादृश्यावरून सिद्ध होते; ते तिघेही एकाच दिशेने, एकाच वेगाने चालले आहेत. ह्या तारकाकुटुंबाच्या तिसऱ्या सदस्याचे वैशिष्ट्य म्हणजे तो इतर दोहोंपेक्षा आपल्याला अधिक जवळ आहे आणि म्हणून ज्या ताऱ्यांची अंतरे आतापर्यंत निश्चित झाली आहेत, त्यांत हाच तारा निकटतम मानला पाहिजे. म्हणून त्याचे लॅटिन नाव 'प्रॉक्सिमा' किंवा 'निकटतम'. तो नरतुरंग क ताऱ्यापेक्षा ३९६० ज्यो. ए. जास्त जवळ आहे. त्यांची लंबने खालीलप्रमाणे आहेत :

मित्र-नरतुरंग क (अ आणि ब)... ०.७५१
नरतुरंग निकट ... ०.७६२

$क_{अ}$ व $क_{ब}$ यांमधील अंतर अवघे ३४ ज्यो. ए. आहे, यामुळे ह्या एकूण गटाचे दृश्य आकृती ७८ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे जरा विचित्र दिसते.

सूर्य आणि युरेनस एकमेकांपासून फारसे जास्त दूर नाहीत. परंतु निकट तारा मात्र त्या दोहोंपासून ५९ 'प्रकाश-दिवस' दूर आहे. हे तारे हळूहळू आपले स्थान बदलतात. अ आणि ब हे दोघे त्यांच्या सामान्य गुरुत्वमध्याभोवती एक प्रदक्षिणा ७९ वर्षांत पूर्ण करतात. निकट तारा मात्र एक प्रदक्षिणा पूर्ण करण्यास १००,००० वर्षांहून अधिक काळ घेते; यामुळे थोड्याच काळानंतर सर्वात जवळची तारा हे तिचे वैशिष्ट्य लोपून नरतुरंग क कुटुंबांतील दुसरी तारा ते स्थान पटकावील अशी भीती बाळगण्याचे कारण नाही.



आकृती ७९ : नरतुरंग 'क'चे तारे आणि सूर्य यांचे सापेक्ष आकार

ह्या गटांतील ताऱ्यांच्या प्राकृतिक गुणधर्मांविषयी आपणास काय माहिती आहे? तेजस्विता, वस्तुमान आणि व्यास ह्या तीनही बाबतीत नरतुरंग 'क' अ हा सूर्याहून किंचित वरचढ आहे (आकृती ७९) तर नरतुरंग 'क' ब याचे वस्तुमान सूर्यापेक्षा किंचित कमी असून त्याचा व्यास मात्र $\frac{१}{८}$ ने जास्त आहे; तेजस्वितेच्या बाबतीत मात्र तो सूर्याच्या तिसऱ्या हिश्शापर्यंतच येतो. त्यानुसार त्याच्या पृष्ठभागाचे तापमानही कमी म्हणजे ४४००° सें. आहे. तेच सूर्याचे ६०००° सें. आहे.

निकट तारा त्याहूनही 'थंड' आहे. तिच्या पृष्ठभागाचे तापमान ३०००°सें. आहे व ती रंगाने लालसर आहे. तिचा व्यास सूर्याहून १४ पट लहान आहे;

म्हणजे तिचे वस्तुमान गुरू व शनीहून शेकडोपट जास्त असूनही तिचा आकार त्या दोहोंपेक्षा लहानच आहे. नरतुरंग 'क' अच्या आकाशातून 'क' ब दिसेल तो युरेनसच्या आकाशात सूर्य दिसतो त्यासारखा. तेथून निकटही दिसेल पण तो एक लहान, अंधुक तारा म्हणून. कारण तो 'क' अपासून सूर्य-प्लुटो यांमधील अंतरापेक्षा २५० पट आणि सूर्य-शनी यांमधील अंतरापेक्षा १००० पट लांब आहे.

नरतुरंग कचे तीन तारे सोडल्यास **दुसरा तारा म्हणजे** भुजंगधारी (ओफिउकस) पुंजामधील एक छोटा ९.७ प्रतीचा तारा होय. त्याची दर्शनीय गती अतिशय जलद असल्यामुले त्याला 'उडता तारा' असेही नाव मिळाले आहे. नरतुरंग क गटाच्या मानाने तो आपणापासून १।। पट लांब आहे, पण **उत्तर खगोलार्धातला निकटतम तारा** तोच आहे. सूर्याच्या गतीच्या स्पर्शरिषेतील त्याची गती एवढी जलद आहे की, दहा हजार वर्षांतच त्याचे अंतर निम्मे होईल आणि मग तो नरतुरंग कच्या त्रिकुटापेक्षा जास्त जवळ येईल.

विश्वाच्या पसाऱ्याचे प्रमाण

ग्रहांवरील प्रकरणात दिलेल्या सूचनांनुसार सूर्यकुलाची जी छोटी प्रतिकृती आपण मन:चक्षूंपुढे उभी केली होती तिकडे आपण आता पुन्हा वळू; त्यात आता आपण तारकांच्या जगाची भर घालू. आपल्या हाती काय लागते?

त्या आपल्या प्रतिकृतीत सूर्य हा एक १० सें.मी. व्यासाचा गोळा होता आणि समग्र ग्रहमाला ८०० मीटर व्यासाच्या वर्तुळात सामावलेली होती हे स्मरणात असू द्या. आता या प्रतिकृतीत तेच प्रमाण धरून सूर्यापासून किती अंतरावर तारे ठेवले पाहिजेत? गणिताने सहज दाखविता येईल की सर्वात जवळचा तारा, नरतुरंग निकट, २७०० किलोमीटर अंतरावर ठेवावा लागेल, व्याध ५५०० कि.मी. अंतरावर आणि श्रवण ९७०० कि.मी. अंतरावर. आपल्या या प्रतिकृतीतसुद्धा हे सर्व 'जवळचे' तारे युरोपखंड व्यापतील. अधिक दूरच्या ताऱ्यांसाठी आपण किलोमीटरपेक्षा मोठे परिमाण घेऊ; ते म्हणजे १००० कि.मी. किंवा मेगामीटर. पृथ्वीचा परिघ ४० मेगामीटर आहे आणि पृथ्वी-चंद्र अंतर ३८० मे.मी. आहे आपल्या प्रतिकृतीत अभिजित१७ मे.मी. अंतरावर असेल, स्वाती २३ मे.मी., ब्रह्महृदय २८ मे.मी., मघा ५३ मे.मी. आणि हंस (क) ३५० मे.मी. हून अधिक दूर असेल.

हा शेवटच्या आकडा किलोमीटरमध्ये ३,५०,००० होईल किंवा पृथ्वी-चंद्र अंतराहून किंचित कमी. म्हणजे ज्यात पृथ्वी ही टाचणीच्या डोक्याएवढी

आणि सूर्य टेनिसच्या चेंडूएवढा आहे अशा छोट्या प्रतिकृतीलासुद्धा विश्वव्यापी रूप येऊ लागते!

अजूनही आपली प्रतिकृती पूर्ण करायची आहे. तीमध्ये आकाशगंगेचे बाहेरील अंगाचे तारे ३०,००० मे.मी. दूर असतील किंवा पृथ्वी-चंद्र अंतराच्या साधारण १००० पट लांब! परंतु आकाशगंगा म्हणजे समग्र विश्व नव्हे. तिच्यापासून खूप अंतरावर आणखी तारकासमूह आहेत : उदाहरणार्थ, देवयानी पुंजातली नुसत्या डोळ्यांनी दिसणारी तारकावली, किंवा एवढेच दिसणारे मॅगेलान तेजोमेघ. आपल्या प्रतिकृतीत मॅगेलान तेजोमेघाच्या जागी ४००० मे.मी. व्यासाची आणि मोठ्या मॅगेलान तेजोमेघाच्या जागी ५५०० मे.मी. व्यासाची, अशा दोन वस्तू, आकाशगंगेच्या प्रतिकृतीपासून ७०,००० मे.मी. अंतरावर ठेवाव्या लागतील. देवयानी तेजोमेघाच्या प्रतिकृतीला ६०,००० मे.मी. चा व्यास असावा लागेल आणि ती आकाशगंगेच्या प्रतिकृतीपासून ५ लक्ष मे.मी. अंतरावर ठेवावी लागेल, म्हणजे गुरूपासून सूर्यापर्यंतचे अंतर झाले.

जोतिःशास्त्राच्या दृष्टीने सर्वात दूरचे आकाशस्थ गोल म्हणजे तारकामय तेजोमेघ. ते आकाशगंगेच्या सीमेपासून फारच लांब आहेत. ते सूर्यापासून निदान १ अब्ज प्रकाशवर्षे दूर आहेत. आपल्या प्रतिकृतीत हे अंतर केवढे होईल ते वाचकाने इच्छा असल्यास ठरवून पाहावे. त्यात यश आल्यास आधुनिक ज्योतिःशास्त्राच्या दर्शनविषयक साधनांच्या आटोक्यातील विश्वाचा विस्तार केवढा आहे याची कल्पना येईल.

❑❑❑

प्रकरण पाचवे

गुरुत्वाकर्षण

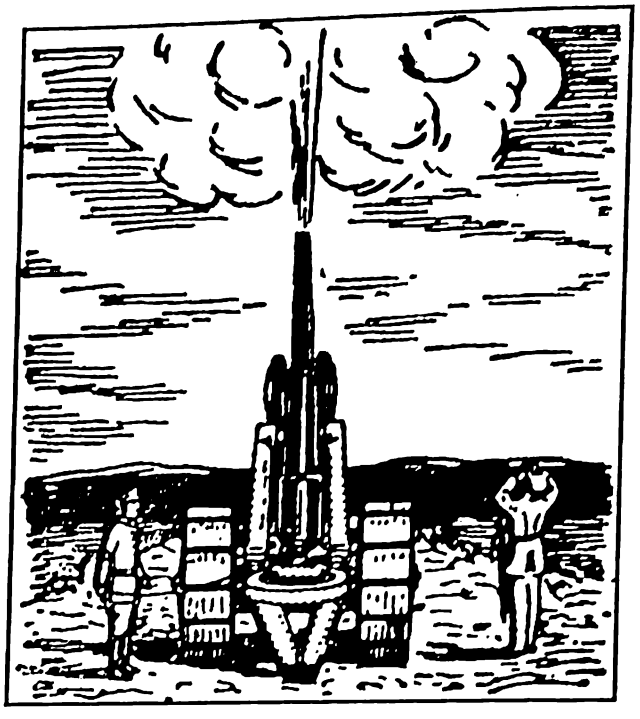
वर उडवलेला गोळा

विषुववृत्तावर बसविलेल्या तोफेतून सरळ वर गोळा उडवला तर तो कुठे जाऊन पडेल? (आकृती ८०). २० वर्षांपूर्वी एका मासिकात या प्रश्नावर चर्चा झाली होती; गोळा दर सेकंदास ८००० मीटर या आरंभिक वेगाने सुटला तर ७० मिनिटांच्या अवधीत ६४,००० कि. मी. (पृथ्वीच्या त्रिज्येची लांबी) उंचीवर जाईल असे अनुमान त्यात केले होते. **मासिकाचे म्हणणे** खालीलप्रमाणे होते :

"विषुववृत्तावर तोफेचा गोळा सरळ वर सोडण्यात आला, तर नळीतून बाहेर पडताना ऊर्ध्वगतीखेरीज विषुववृत्तावरील वर्तुळाकार पूर्वदिशागामी वेगही त्याला मिळेल. (हा वेग दर सेकंदास ४६५ मीटर असतो.). ह्या दुसऱ्या गतीमुळे तो गोळा विषुववृत्तास समांतर अशा दिशेने जाईल. तोफेपासून सरळ वरचा ६४०० मीटरवरचा बिंदू दुप्पट त्रिज्येच्या वर्तुळावर दुप्पट वेगाने गेलेला असेल. यामुळे गोळा पूर्वेकडे जात असूनही तो बिंदू त्याच्या पुढेच असेल. जेव्हा गोळा सर्वोच्च बिंदूवर पोचेल तेव्हा तो, तोफ झाडल्याच्या बिंदूच्या सरळ वर असणार नाही, त्याच्यामागे काही अंतरावर असेल. गोळा पृथ्वीवर परत येतो तेव्हा ही क्रिया परत घडते. ७० मिनिटांच्या ऊर्ध्वगमनानंतर आणि अध:पतनानंतर गोळा ४००० **कि.मी. पश्चिमेकडील बिंदूवर जाऊन पडेल.** तेथे तो पडण्याची अपेक्षा करावी. गोळा जर पुन्हा तोफेच्या नळीत पडावा असे वाटत असेल तर तोफ सरळ वरच्या दिशेने झाडू नये. किंचित तिरकस करून, या उदाहरणात ४ अंशांचा कोन करून ती झाडायला पाहिजे."

'ज्योतिःशास्त्र' ह्या आपल्या पुस्तकात **फ्लामारियनने हाच प्रश्न अगदी वेगळ्या तऱ्हेने सोडविला आहे :**

"हवेमध्ये सरळ वर, खस्वस्तिकाच्या दिशेने सोडलेला गोळा पुन्हा तोफेच्या नळीत येऊन पडेल. गोळा वरती जात असताना व खाली येत असताना तोफ पृथ्वीबरोबर पूर्वेकडे गेलेली असते, असे असूनही गोळा नळीतच पडेल. कारण उघड आहे. तोफेच्या गोळ्यालादेखील पृथ्वीच्या गतीने वेग दिलेला असतो आणि गोळा वर जात असला तरी तो वेग नाहीसा होत नाही. तोफेची दिलेली



आकृती ८० : सरळ वर सोडलेल्या तोफेच्या गोळ्याचे कोडे

गती आणि पृथ्वीने दिलेली गती दोन्ही परस्परविरोधी नाहीत; गोळा एक किलोमीटर वर जाईल आणि त्याचवेळी तो, समजा ६ किलोमीटर पूर्वेकडे जाईल. अवकाशातील त्याचा गतिपथ म्हणजे १ कि.मी. व ६ कि.मी. अशा बाजू असलेल्या समांतरभुज चौकोनाची कर्णरिषा असेल. गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावाने खाली पडत असताना तिचा गतिपथ दुसऱ्या कर्णरिषेवरून (किंवा पतन वाढत्या वेगाने होत असल्यामुळे वक्ररेषेवरून) जाईल. अखेर **तो गोळा सरळ तोफेच्या नळीत जाऊन पडेल."**

पुढे फ्लामारियन म्हणतो : "अर्थात असा प्रयोग करणे सोपे नाही; कारण उत्तम परिणामबद्ध तोफा क्वचितच उपलब्ध असतात आणि सरळ वरच्या

दिशेने नेम धरण्यातही अडचणी येतील. मेर्सीन आणि पितित यांनी १७व्या शतकात हा प्रयोग करून पाहिला पण तोफेतून सोडलेला गोळा त्यांना सापडलादेखील नाही. 'गुरुत्वाकर्षणाविषयी अधिक विचार' (१६९०) या व्हारिननच्या पुस्तकाच्या मुखपृष्ठावर एक मार्मिक चित्र काढलेले आहे. (या प्रकरणाच्या आरंभी ते दिलेले आहे). त्यात एक भिक्षू आणि एक शिपाई असे दोघे निरीक्षक दाखविले आहेत. वरती रोखलेल्या तोफेच्या शेजारी ते उभे असून गोळ्याचे मार्गक्रमण न्याहाळण्याच्या पावित्र्यात वर पाहत आहेत. त्यावर फ्रेंच भाषेत मजकूर कोरलेला आहे, 'तो परत येईल का?' भिक्षू म्हणजे मर्सीन आणि शिपाई पेतित. हा धोक्याचा प्रयोग त्यांनी अनेक वेळा करून पाहिला. परंतु निशाणबाजीत प्रवीण नसल्यामुळे एकदाही गोळा त्यांच्या डोक्यावर आदळला नाही आणि म्हणून अखेर ते अशा निष्कर्षाप्रत आले की तो हवेतच कुठेतरी अधांतरी राहिला असावा. व्हारिनन आश्चर्याने म्हणतो, "अधांतरी लटकणारा तोफेचा गोळा! केवढी आश्चर्याची गोष्ट!" हाच प्रयोग स्ट्रासबुर्ग शहरात करण्यात आला तेव्हा गोळा तोफेपासून कित्येकशे मीटर दूर पडलेला सापडला. तोफेचा नेम बरोबर ऊर्ध्व दिशेने नसावा."

यावरून दिसेल की ही दोन्ही उत्तरे स्पष्टपणे परस्परविरोधी आहेत. **एकाचे म्हणणे गोळा तोफेपासून बराच दूर पश्चिमेकडे पडेल, दुसऱ्याचे म्हणणे तो परत तोफेच्या नळीतच येऊन पडेल. खरे कोणाचे?**

काटकोरपणे सांगायचे तर दोघेही चूक आहेत, पण फ्लामारियनचे म्हणणे बरेच सत्यासमीप होते. गोळा तोफेच्या पश्चिमेला पडेल, पण पहिला म्हणतो त्या अंतरावर नव्हे, तसेच दुसरा म्हणतो त्याप्रमाणे तोफेच्या नळीतही नव्हे.

खेदाची गोष्ट ही की याचे उत्तर प्राथमिक गणिताच्या मर्यादेबाहेरचे आहे.* म्हणून आपण फक्त अखेरचा निष्कर्ष पाहू.

गोळ्याचा आरंभिक वेग व पृथ्वीच्या परिवलनाचा कोनिक वेग प आणि गुरुत्वाकर्षणजन्य प्रवेग ग आणि गोळा तोफेपासून ज्या अंतरावर पश्चिमेस पडेल ते अंतर क्ष, आहे असे मानल्यास $क्ष = \frac{४}{३} प \frac{व^३}{ग^२}$ हे समीकरण विषुववृत्तासाठी,

* त्यासाठी खास तपशीलवार गणित करावे लागेल. माझ्या विनंतीनुसार तज्ज्ञांनी ते करून उत्तर काढले; पण त्याचा तपशील येथे दिल्यास फारच जागा अडेल.

आणि क्ष = $\frac{४}{३}$ प $\frac{व^३}{ग^२}$ कोज्या क हे समीकरण क अक्षांशवृत्तासाठी, अशी समीकरणे मिळतात.

पहिल्या लेखकाने केलेल्या प्रश्नात व = $\frac{२\pi}{८६,१६४}$,

व = ८०००मी. / से. आणि ग = ९.८ मी. / से.^{२}

मेस त्या अर्थी उत्तर क्ष = ५२० किलोमीटर, म्हणजे **गोळा तोफेच्या पश्चिम ५२० कि.मी. अंतरावर पडेल.** (लेखकास वाटले त्याप्रमाणे ४००० कि. मी. नव्हे.)

फ्लामारियनच्या प्रश्नाच्या बाबतीत या सूत्रानुसार उत्तर काय येते? ही तोफ विषुववृत्तावर नव्हे तर पॅरिसजवळ ४८ अक्षांशावर होती. ह्या प्राचीन तोफेतून सुटलेल्या गोळ्यांचा प्रारंभिक वेग ३०० मी. / से. होता असे मानू.

प = $\frac{२\pi}{८६,१६४}$ व = ३००मी. / से., ग = ९.८ मी. / से.^{२} आणि क = ४८°, त्या अर्थी क्ष = १८ मीटर, म्हणजे त्या फ्रेंच ज्योतिःशास्त्रज्ञाच्या म्हणण्याप्रमाणे गोळा तोफेच्या नळीत पडणार नाही, तर तोफेच्या पश्चिमेस १८ मीटर अंतरावर पडेल, अर्थात हवेतील प्रवाहांनी गोळ्याचे विचलन होण्याची शक्यता आपण जमेस धरलेली नाही, वस्तुतः त्यामुळे बराच फरक पडू शकतो.

उंचावरच्या स्थळी वजन

वरील गणितात अद्याप नमूद न केलेली एक गोष्ट विचारात घेतलेली आहे ती म्हणजे पृथ्वीपासून जेवढे दूर जावे तेवढे गुरुत्वाकर्षण कमी होत जाते. वजन म्हणजे केवळ सर्वव्यापी गुरुत्वाकर्षणाचाच आविष्कार होय आणि दोन वस्तूंमधील अंतर वाढले तर त्यांच्यामधील आकर्षण कमी होते. न्यूटनच्या नियमानुसार गुरुत्वाकर्षण हे अंतराच्या वर्गसंख्येच्या व्यस्त प्रमाणात असते; या ठिकाणी अंतर पृथ्वीच्या मध्यापासून मोजावे. कारण पृथ्वी सारे वस्तुमान जणू तिच्या मध्यातच केंद्रित झाले असावे अशा तऱ्हेने सर्व वस्तूंना आकर्षित असते. यामुळे ६४०० कि.मी. उंचीवरचा बिंदू पृथ्वीमध्यापासून पृथ्वीत्रिज्येच्या दुप्पट अंतरावर असला, तरी तेथे गुरुत्वाकर्षण पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील आकर्षणाच्या मानाने $\frac{१}{४}$ च असते.

वर सोडलेल्या तोफेच्या गोळ्याच्या बाबतीत ह्या गोष्टीचा परिणाम काय होतो? गुरुत्वाकर्षण उंचीबरोबर जर घटत नसते तर गोळा जेवढ्या उंचीवर गेला असतां, त्याहून तो प्रत्यक्षात अधिक वर जातो. दर सेकंदाला ८००० मी. वेगाने सुटलेला गोळा ६४०० कि.मी. उंचीवर जाईल असे आपण गृहीत धरले होते. पण उंचीच्या वाढीबरोबर गुरुत्वाकर्षणात होणारी घट दुर्लक्षून जर आपण नेहमीच्या सुप्रसिद्ध सूत्रानुसार उंची काढली तर ती खरोखर असावी त्याहून अर्धीच निघेल. ही गणना खालीलप्रमाणे होईल. वर सोडलेल्या वस्तूचा वेग **व** असल्यास आणि गुरुत्व-प्रवेश **ग** असल्यास त्या वस्तूने गाठलेली कमाल उंची **उ** शोधून काढण्यासाठी पदार्थविज्ञान आणि गतिशास्त्रावरील पाठ्य-पुस्तकात खालील सूत्र दिलेले असते :

$$उ = \frac{व^२}{२\ ग}$$

जर व = ८००० मी./से. आणि **ग** = ९.८ मी./से.^{२} तर

$$उ = \frac{८०००^२}{२ \times ९.८} = ३,२६५,००० \text{ मी.} = ३२६५ \text{ कि. मी.}$$

पण ही उंची वर दिलेल्यापेक्षा जवळ जवळ निम्मीच आहे. वर म्हटल्याप्रमाणे पाठ्यपुस्तकातील सूत्र लागू करताना उंचीनुसार गुरुत्वाकर्षणात होणारी घट जमेस घेतली नाही तर असा फरक घडतो. जर पृथ्वीचे गोळ्यावरील आकर्षण कमी होत गेले तर ठरावीक वेग असताना तो अधिक उंच जाणे अपरिहार्य आहे.

वर जाणाऱ्या वस्तूच्या उंचीसंबंधी पाठ्यपुस्तकात दिलेली सूत्रे चुकीची आहेत असा निष्कर्ष मात्र काढू नये. ज्या मर्यादांच्या आत त्यांचा उपयोग करावयाचा असतो तेवढ्यात ती सूत्रे बरोबर असतात. त्या ठरलेल्या मर्यादांबाहेर त्यांचा उपयोग करू गेल्यास ती अविश्वसनीय ठरतात. ही सूत्रे उंची कमी असताना वापरण्यासाठी आहेत, कारण तेवढ्या मर्यादेत गुरुत्वाकर्षणातली घट एवढी कमी असते की ती लक्षात घेतली नाही तरी चालू शकते. उदाहरणार्थ, ३०० मी./से. ह्या आरंभिक वेगाने वर सोडलेल्या गोळ्याच्या बाबतीत गुरुत्वाकर्षणातील घट महत्त्वाची नाही.

एक मनोरंजक प्रश्न या ठिकाणी सुचतो. तो हा : **आधुनिक विमाने ज्या उंचीवर जातात तेथे गुरुत्वाकर्षणातील घट जाणवते का?** वजन कमी झाल्याचे

तेवढ्या उंचीवर लक्षात येते का? १९३६ साली व्लाडिमीर कोक्किनाकी हा वैमानिक भिन्न भिन्न वजनाचे सामान घेऊन पुष्कळ उंच गेला होता; अर्धा टन घेऊन ११,४५८ मीटरवर, १ टन घेऊन, १२,१०० मीटरवर आणि २ टन घेऊन ११,२९५ मीटरवर. आता प्रश्न असा : ह्या उंचीवर सामानाचे वजन होते तेवढेच राहिले की ते लक्षात येण्याएवढे कमी झाले? प्रथम दर्शनी असे वाटते की १०-१२ किलोमीटर वर गेल्याने पृथ्वीसारख्या प्रचंड ग्रहावरील वजनात फरक तो काय पडणार? पृष्ठभागावर सामान असताना ते पृथ्वीमध्यापासून ६४०० कि.मी. दूर होते. १२ कि.मी. वर चढल्याने तेच अंतर ६४१२ कि.मी. झाले. ही वाढ एवढी बारीक वाटते की तीमुळे वजनात काही घट होईलसे वाटत नाही. पण गणितावरून उलट आढळले. वजनातील घट जाणवण्याइतकी होती.

कोक्किनाकी २००० किलोग्रॅम घेऊन ११,२९५ मी. उंचीवर गेला तेव्हाचे गणित घेऊ. ह्या उंचीवर पृथ्वीच्या मध्यापासून त्याचे विमान निघतेवेळेपेक्षा $\frac{६४११.३}{६४००}$ पट अधिक दूर होते.

म्हणजे तेथे गुरुत्वाकर्षण $\left(\frac{६४११.३}{६४००}\right)^{२}$ पट किंवा $\left(१ + \frac{११.३}{६४००}\right)^{२}$ पट कमी असेल. त्या अर्थी एवढ्या उंचीवर सामानाचे वजन २००० / $\left(१ + \frac{११.३}{६४००}\right)^{२}$ किलोग्रॅम होईल. हे सोडविल्यास (याकरिता कच्चा हिशेबही पुरे होईल)* उत्तर येते की, कमाल उंचीवर २००० किलोग्रॅम सामानाचे वजन फक्त १९९३ किलोग्रॅम होते; म्हणजे ७ किलोग्रॅम कमी होते; ही घट उपेक्षणीय नाही. ह्या उंचीवर **१ किलोचे वजन स्प्रिंगच्या काट्यावर फक्त ९९६.५ ग्रॅम भरेल, म्हणजे त्यात ३।। ग्रॅमची घट होईल.**

वातावरणाच्या वरच्या थरांत २२ कि. मी. उंचीवर गेलेल्या बलूनमधील

---

* यासाठी खालील स्थूल किंवा निकट समीकरणाचा उपयोग करता येईल.

अ सूक्ष्म असताना, $(१+अ)^{२} = १+ अ$ आणि $१/(१+अ)=१-अ$, मग

$$२०००/\left(१+\frac{११.३}{६४००}\right)^{२} = २०००/\left(१+\frac{११.३}{३२००}\right)$$

$$= २००० - \frac{११.३}{१.६} = २००० - ७$$

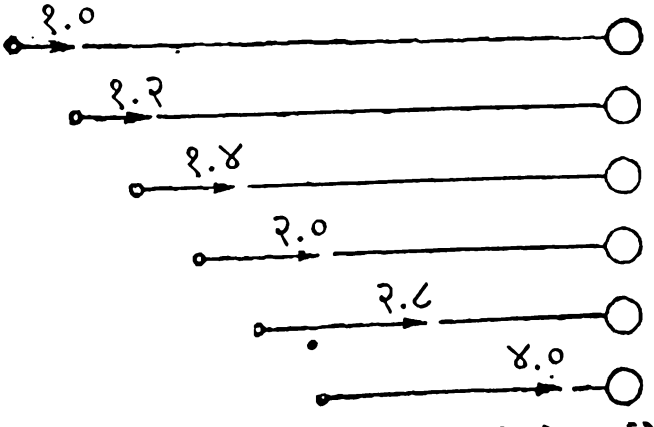
नाविकांचे वजन याहूनही अधिक, म्हणजे दर किलोग्रॅममागे ७ ग्रॅम घटले असेल.

कंपासच्या साहाय्याने ग्रहपथाचा शोध

केप्लरच्या कष्टाळू प्रतिभेने निसर्गाच्या रहस्यांमधून ग्रहगतीच्या ज्या **तीन नियमांचा छडा** लावला त्यापैकी **पहिला नियम** समजायला पुष्कळांना सर्वात अवघड वाटतो. **ग्रह विवृत्ताकार मार्गाने फिरत असतात** हा तो नियम. पण विवृत्ताकारच का? ज्या अर्थी सूर्याची आकर्षण शक्ती सर्व दिशांत सारखी आहे आणि शिवाय अंतराच्या प्रमाणात ती सर्व बाजूस सारखी कमी होत जाते त्या अर्थी ग्रहांचा सूर्याभोवताली फिरण्याचा मार्ग वर्तुळाकार असावा, ज्यात सूर्य मध्यावर नाही असा लांबट बंद मार्ग असू नये, असे वाटते. गणित या प्रश्नांची उत्तरे देते. परंतु सर्वच हौशी ज्योतिःशास्त्रज्ञांना कॅल्क्युलस (सूक्ष्मांशगणित) अवगत असतेच असे नाही. म्हणून केप्लरच्या नियमांचा अचूकपणा समजून घेण्यासाठी वाचकांना मी दुसऱ्या प्रकारे मदत करून पाहतो.

कंपास, फुटपट्टी आणि मोठाला कागद घेऊन आपण ग्रहांचा मार्ग आखूया आणि त्यांची रूपरेषा केप्लरच्या नियमांना अनुसरूनच आहे याचा दर्शनीय पुरावा गोळा करूया.

गुरुत्वाकर्षणाने ग्रहांचा गतिपथ ठरतो. आपण ही क्रिया तपासून पाहू. आकृती ८१ मधील उजवीकडचे वर्तुळ म्हणजे सूर्य आहे, डावीकडे एक काल्पनिक ग्रह आहे. दोहोंतील अंतर समजा १०,००,००० कि. मी. आहे. आपल्या आकृतीत हे अंतर ५ सें.मी.ने दाखविले आहे. म्हणजे प्रमाण २ लक्ष कि. मी. ला एक सें.मी. हे आहे.



आकृती ८१ : ग्रह जेवढा सूर्याच्या जवळ जातो, तेवढे सूर्याचे त्याच्यावरील गुरुत्वाकर्षण वाढत जाते.

ग्रहाला जोडून ०.५ सें.मी. चा बाण दाखविला आहे. सूर्य ज्या शक्तीने ग्रहास ओढतो ती शक्ती ह्या बाणाने दाखविली आहे. (आकृती ८१). आता समजा की ह्या आकर्षणामुळे ग्रह सूर्याजवळ सरकून ९ लक्ष कि. मी. अंतरावर आला आहे. आपल्या आकृतीत हे अंतर ४.५ सें.मी. आहे. आता गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमानुसार सूर्याचे आकर्षण $\left(\frac{१०}{९}\right)^{२}$ पट किंवा १.२ पट वाढावयास पाहिजे. पहिल्या स्थितीमधील गुरुत्वाकर्षण आपण १ परिमाण लांबीच्या बाणाने दाखविले तर आताचा बाण १.२ परिमाणाचा हवा. पुढे अंतर ८ लक्ष कि.मी. (आकृतीत ४ सें.मी.) होते आणि आकर्षण $\left(\frac{५}{४}\right)^{२}$ किंवा १.६ पट वाढते व ते १.६ परिमाण लांबीच्या बाणाने दाखविले आहे. क्रमशः हा ग्रह ७, ६ व ५ लक्ष कि.मी. अंतरावर येतो आणि त्या त्या वेळचे आकर्षण २. २.८ आणि ४ परिमाण लांबीच्या बाणांनी दाखविले आहे.

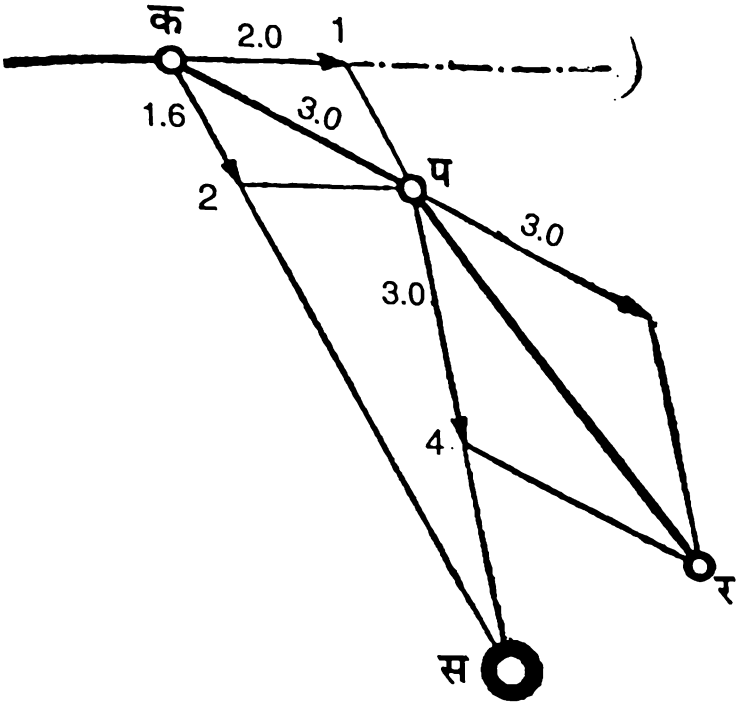
हे बाण आकर्षणशक्तीचे प्रमाण दाखवितात एवढेच नव्हे तर त्याबरोबर त्या शक्तीच्या प्रभावामुळे कालाच्या एक परिमाणात होणारा ग्रहाचा स्थानबदलही दाखवितात अशी कल्पना आपण करू शकतो. (या ठिकाणी स्थानबदल प्रवेगाच्या व म्हणून शक्तीच्या समप्रमाणात असतो.) हीच आकृती ग्रहाच्या स्थानबदलाची आयती सारणी म्हणून पुढे दुसऱ्या आकृतीत आपण वापरू.

आता सूर्याभोवती फिरणाऱ्या ग्रहाचा मार्ग आपण रेखाटूया. समजा एका विशिष्ट क्षणी उपरोल्लिखित ग्रहाएवढेच वस्तुमान असलेला ग्रह सूर्यापासून ८ लक्ष कि. मी. अंतरावर **क** येथे आहे व तो लांबीच्या २ परिमाणांच्या वेगाने जात आहे. (आकृती ८२). ह्या अंतरावर सूर्याची आकर्षणशक्ती त्याला सूर्याजवळ १.६ परिमाणे ढकलील, त्याच वेळेत मूळ गतीमुळे तो २ परिमाणे पुढे जाईल. परिणामी तो **कप** ह्या मार्गाने, म्हणजे **क**१ आणि **क**२ ह्या दोहोंच्या समांतरभुज चौकोनाच्या कर्णरेषेने जाईल. ही कर्णरेषा लांबीच्या ३ परिमाणांएवढी आहे.

प येथे पोचल्यावर हा ग्रह **कप** याच दिशेने ३ परिमाणे पुढे जाऊ पाहील. पण सूर्यापासूनचे अंतर **सप** हे आता ५.८ एवढेच आहे व त्या अंतरावर सूर्याचे आकर्षण त्याला $\mathbf{प}_{४}$ = **३** या मार्गाने **सप** या दिशेत ढकलील. परिणामी तो **पर** या कर्णरेषेने जाईल.

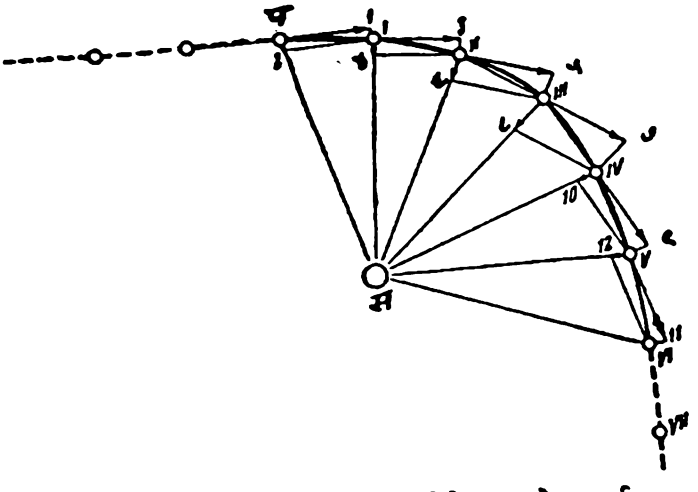
ह्या आकृतीमध्ये पुढचा मार्ग आखण्याचा उद्योग करण्यात अर्थ नाही; कारण आपण घेतलेले प्रमाण त्या मानाने फार मोठे आहे. प्रमाण जेवढे लहान

घ्यावे तेवढा ग्रहमार्गाचा अधिक मोठा भाग आपण दाखवू शकू आणि कोनाच्या लघुतेमुळे ह्या रेखाचित्रात व ग्रहाच्या खऱ्या मार्गात पडणारा फरक कमी होईल.



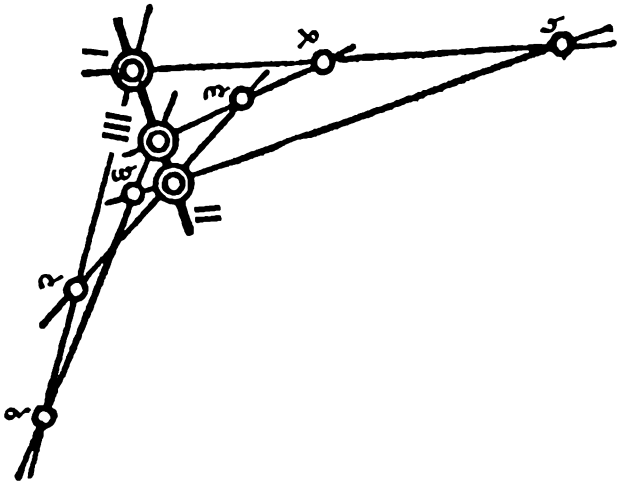
आकृती ८२ : वकपर या ग्रहपथास सूर्य (स) वक्राकार रूप कसे देतो?

उपरोल्लिखित वस्तुमानाचा कोणत्याही आकाशस्थ गोल आणि सूर्य यांच्या सामन्याचे तेच चित्र आकृती ८३ मध्ये लहान प्रमाणावर काढलेले आहे. सूर्य कशा प्रकारे त्या ग्रहाला त्याच्या मूळ मार्गातून बाजूला नेत जातो आणि त्याला प१-२-३-४-५-६ हा मार्ग कसा अनुसरायला लावतो हे त्यावरून स्पष्ट कळेल. या ठिकाणी कोन एवढे स्पष्ट नाहीत आणि अखंड वक्ररेषा काढूनदेखील ग्रहांची स्थाने आपण सहज जोडू शकतो.



आकृती ८३ : ग्रह प चा मूळ मार्ग सरळ रेषेत आहे, सूर्य त्याला बाजूला ओढून त्याचा मार्ग वक्राकार बनवितो.

ह्या वक्ररेषेचा आकार कोणता आहे? भूमिती याचे उत्तर देते. आकृतीवर ट्रेसिंग पेपर ठेवून ग्रहाच्या मार्गावरचे कोणतेही सहा बिंदू उतरून घ्या. (आकृती ८३) ह्या बिंदूवर क्रमांक टाका आणि त्याच क्रमात सरळ रेषा आखून ते जोडून घ्या (आकृती ८४). या पद्धतीने ग्रहाच्या मार्गाच्या अंतर्गत अशी षड्भुजाकृती तयार होईल, तिच्या काही बाजू एकमेकांस छेदणाऱ्या असू शकतील.



आकृती ८४ : ग्रहांचे सूर्यप्रदक्षिणापथ शंकुच्छेदरूप असले पाहिजेत याचा भूमितीय पुरावा.

आता १ व २ ह्या बिंदूंना जोडणारी रेषा लांबवून ती ४ व ५ या बिंदूंना जोडणाऱ्या रेषेस I ह्या बिंदूत छेदू द्या. त्याचप्रमाणे २—३ आणि ५—६ या बिंदूंस जोडणाऱ्या रेषा II मध्ये आणि ३—४ आणि १—६ या रेषा III मध्ये परस्परांस छेदू द्या. विवृत्त, अन्वस्त किंवा अपास्त ह्या तथाकथित शंकुच्छेदात जर ही रेषाकृती बसत असेल तर I, II आणि III हे बिंदू एकाच सरळ रेषेत असले पाहिजेत. ह्या भूमितीय सिद्धान्तास 'पास्कलची षड्भुजाकृती' म्हणतात. (हा सिद्धान्त माध्यमिक शिक्षणक्रमात येत नाही.).

आकृती काळजीपूर्वक काढल्यास हे छेदबिंदू नेहमी सरळ रेषेवर येतील. आपली वक्ररेषाकृती, विवृत्त, अन्वस्त किंवा अपास्त यांपैकी कोणती तरी असली पाहिजे हे यावरून सिद्ध होते. आकृती ८३ मधील रेषाकृती उघडच विवृत्ताकार नाही. कारण ती पिहीत किंवा बंद नाही आणि म्हणून त्यातील ग्रहाचा मार्ग अन्वस्ताकार असला पाहिजे. ग्रहाचा मूळ वेग आणि गुरुत्वाकर्षण यांचे प्रमाण अशा प्रकारचे आहे की सूर्य त्याला केवळ सरळ रेषेपासून विचलित करतो. तो त्यास स्वत:भोवती फिरता ठेवण्यास, किंवा ज्योति:शास्त्रज्ञांच्या भाषेत सांगावयाचे म्हणजे त्याला 'काबीज' करण्यास असमर्थ आहे.

आता आपण ग्रहगतीच्या **दुसऱ्या नियमाचे,** तथाकथित **क्षेत्रफळ-नियमाचे स्पष्टीकरण** करू. आकृती १९ (पृ. ३८) पुन्हा एकदा नीट पाहून घ्या. तिचे बारा बिंदूंनी १२ भाग पडलेले आहेत; ते सर्व सारखे नाहीत, तरीदेखील प्रत्येक भाग आक्रमण्यास ग्रहास सारखा वेळ लागतो हे आपल्याला माहीत आहे. १, २, ३ इत्यादी बिंदू सूर्याशी जोडल्यास १२ आकृत्या तयार होतात आणि जर त्या काढून बिंदू जोडले तर त्या त्रिकोणासारख्याच बनतात, त्यांची तलरेषा आणि उंची मोजा आणि त्यावरून त्यांचे क्षेत्रफळ काढा. सर्व त्रिकोण सारख्या क्षेत्रफळाचे असल्याचे आढळेल. दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे आपण केप्लरच्या दुसऱ्या नियमाप्रत येतो; तो नियम म्हणजे :

ग्रहांच्या कक्षेच्या चलत्रिज्या समान कालात समान क्षेत्रफळे व्यापतात.

अशा प्रकारे एकापरीने ग्रहगतीचे पहिले दोन नियम समजून घेण्यास कंपासची मदत होते. आता तिसऱ्या नियमाचे स्पष्टीकरण करण्यासाठी आपण कंपास बाजूला ठेवू आणि कागद व लेखणी घेऊन थोडी गणिती कसरत करू.

ग्रह सूर्यावर जाऊन पडले तर –

पृथ्वीच्या वाटेत एखादा अडथळा येऊन तिची सूर्यप्रदक्षिणा एकाएकी थांबली तर काय अनर्थ घडेल, याची कल्पना करण्याचा प्रयत्न तुम्ही कधी केला आहे का? एकतर गतिमान वस्तू म्हणून तिच्या ठायी जो शक्तीचा प्रचंड साठा आहे त्याचे उष्णतेत रूपांतर होईल आणि त्यामुळे पृथ्वी गरम होईल आणि ज्या अर्थी बंदुकीच्या गोळीपेक्षा अनेकपट वेगाने पृथ्वीचे कक्षाभ्रमण चाललेले असते त्या अर्थी आपण सहज कल्पना करू शकतो की त्या गतिशक्तीचे उष्णतेत रूपांतर होताच अशी भयंकर आग पेटेल की समग्र पृथ्वी म्हणजे ज्वालारूप वायूंचा एक प्रचंड मेघच बनेल!

पण क्षणभर समजा की पृथ्वी अचानक थांबल्याने असे काही घडले नाही, तरीसुद्धा पृथ्वी अग्निप्रलयात नष्ट होईल; **सूर्याचे आकर्षण तिला त्याच्या अग्निमय आलिंगनात ओढून घेऊन तिचा नाश करील.**

हे प्रलयकारी पतन अत्यंत मंद गतीने, अक्षरशः गोगलगायीच्या गतीने सुरू होईल आणि पहिल्या एक सेकंदानंतर पृथ्वी सूर्याकडे फक्त ३ मिलिमीटर सरकेल. परंतु दर सेकंदागणिक हा वेग वाढत जाईल आणि अखेरच्या सेकंदास तर तो दर सेकंदास ६०० कि.मी. एवढा होईल. त्या अफाट वेगाने पृथ्वी सूर्याच्या ज्वालारूप पृष्ठभागावर उडी घेईल.

ह्या अनर्थास किती वेळ लागेल? विनाशाकडे चाललेल्या आपल्या या हतभागी जगाला किती काळ या यातनांनी तडफडावे लागेल? केप्लरचा तिसरा नियम लागू करून आपण हा काळ काढू शकतो; हा नियम ग्रहाप्रमाणे धूमकेतूंच्याही गतींचे नियमन करतो, एवढेच नव्हे तर सर्वसामान्यपणे एखाद्या मध्यवर्ती गुरुत्वाकर्षण शक्तीच्या प्रभावाखाली अवकाशात फिरत असलेल्या कोणत्याही आकाशस्थ गोलास तो लागू पडतो. ग्रहाचा परिभ्रमणकाल (त्याचे 'वर्ष') आणि त्याचे सूर्यापासूनचे अंतर या दोहोंचा संबंध जोडणारा हा नियम असा आहे :

ग्रहांच्या सूर्य-परिभ्रमणकालांच्या वर्गसंख्यांचे प्रमाण त्यांच्या कक्षांच्या बृहद्-अर्ध-व्यासांच्या घनसंख्यांच्या प्रमाणाएवढेच असते.

वरील बाबबीत सूर्याकडे पळत चाललेली पृथ्वी म्हणजे जणू एखाद्या अतिशय लांबट व सपाट विवृत्ताच्या मार्गाने चाललेला काल्पनिक धूमकेतूच आहे असे आपण गृहीत धरू शकतो; ह्या विवृत्ताच्या दोन दूरतम बिंदूंपैकी एक पृथ्वीच्या कक्षेवर असेल व दुसरा सूर्याच्या मध्यावर असेल. अशा धूमकेतूचा बृहद् अर्ध-व्यास अर्थात पृथ्वीकक्षेच्या बृहद् अर्ध-व्यासाच्या निम्मा असेल. यावरून आपल्या काल्पनिक धूमकेतूचा परिभ्रमणकाल आपण काढूया.

केप्लरच्या तिसऱ्या नियमानुसार खालील समीकरण निष्पन्न होते.

$$\frac{(\text{पृथ्वीचा परिभ्रमणकाल})^{२}}{(\text{धूमकेतूचा परिभ्रमणकाल})^{२}} = \frac{(\text{पृथ्वीचा बृहद् अर्ध-व्यास})^{३}}{(\text{धूमकेतूचा बृहद् अर्ध-व्यास})^{३}}$$

पृथ्वीचा परिभ्रमण काल ३६५ दिवस आहे.

पृथ्वीकक्षेचा बृहद् अर्ध-व्यास १ धरल्यास धूमकेतूच्या कक्षेचा बृहद् अर्ध-व्यास ०.५ होईल. मग वरील प्रमाण

$$\frac{३६५^{२}}{(\text{धूमकेतूचा परिभ्रमण काल})^{२}} = \frac{१}{(०.५)^{३}}$$

त्या अर्थी $(\text{धूमकेतूचा परिभ्रमणकाल})^{२} = ३६५^{२} \times \frac{१}{८}$

आणि धूमकेतूचा परिभ्रमणकाल $= ३६५ \times \frac{१}{\sqrt{८}} = \frac{३६५}{\sqrt{८}}$

या ठिकाणी आपणास हवा तो परिभ्रमणाचा पूर्ण काल नव्हे, तर त्याचा

अर्धा काल, किंवा पृथ्वीकक्षेवरून सूर्यापर्यंत करावयाच्या प्रवासाचा काल. तो काळ म्हणजे

$$\frac{३६५}{२\sqrt{८}} = \frac{३६५}{\sqrt{३२}} = \frac{३६५}{५.६५}$$

म्हणजे, सूर्यावर जाऊन पडल्यास पृथ्वीला किती काळ लागेल हे शोधून काढण्यास आपण वर्षाला $\sqrt{३२}$ ने किंवा ५.६५ ने भागले पाहिजे. पूर्णांकात हे उत्तर येते ६५ दिवस.

यावरून दिसते की **कक्षाभ्रमण एकाएकी थांबल्यास त्यानंतर सूर्यावर पृथ्वी जाऊन पडायला २ महिन्यांहून अधिक काळ लागेल.**

केप्लरच्या तिसऱ्या नियमाच्या आधारे काढलेले हे साधे सूत्र पृथ्वीलाच नव्हे तर इतर सर्व ग्रहांना आणि उपग्रहांनादेखील लागू पडते, हे सहज लक्षात येईल. म्हणजे कोणताही ग्रह अथवा उपग्रह आपल्या मध्यवर्ती गोलावर जाऊन आदळायला किती काळ लागेल हे शोधून काढायचे झाल्यास, त्याच्या परिभ्रमणकालास $\sqrt{३२}$ किंवा ५.६५ ने भागावे म्हणजे उत्तर येईल.

उदाहरणार्थ, सूर्यापासून सर्वात जवळचा ग्रह जो बुध, त्याचा परिभ्रमणकाल ८८ दिवसांचा आहे, त्याला सूर्यावर पडायला १५॥ दिवस लागतील, तर नेपच्यूनचे 'वर्ष' पृथ्वीच्या १६५ वर्षांएवढे असल्यामुळे त्याला २९ वर्षे लागतील आणि प्लुटोला ४४.

आपला चंद्र एकाएकी थांबला तर त्याला पृथ्वीवर पडायला किती काळ लागेल? चंद्राच्या परिभ्रमणकालास म्हणजे २७.३ दिवसांस ५.६५ ने भागा, उत्तर जवळ जवळ ५ दिवस येते. चंद्रच नव्हे तर त्या अंतरावरची कोणतीही वस्तू, तिचा आरंभिक वेग शून्य असल्यास पाचच दिवसांत पृथ्वीवर येऊन पडेल; पडत असताना केवळ पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावास अनुसरून ती वागेल. (सुगमतेच्या दृष्टीने आपण सूर्याचे गुरुत्वाकर्षण हिशेबात घेत नाही.).

जूल व्हर्नच्या 'पृथ्वीपासून चंद्राकडे' या पुस्तकातील माणसांना तेथे पोचायला किती दिवस लागले असतील हेदेखील वरील सूत्राच्या साहाय्याने आपल्याला सहज सांगता येईल.*

---

* 'आकाशयात्रा' या माझ्या पुस्तकात यासंबंधीचे गणित दिले आहे.

व्हल्कनची भट्टी

ग्रीक पुराणांमधील एक विचित्र प्रश्न सोडविण्यासाठी वर शोधून काढलेल्या नियमाचा आपण उपयोग करूया. व्हल्कन देवाविषयीच्या प्राचीन ग्रीक कथेत सहज एक उल्लेख केला आहे की या देवाच्या हातून त्याची भट्टी एकदा खाली पडली व ती ९ दिवसांनी पृथ्वीवर पोहोचली. स्वर्लोकाच्या अमाप उंचीबद्दल प्राचीन लोकांची जी काय कल्पना होती तिच्याशी सुसंगत असा हा काळ होता; खॉप्सच्या पिरामिडच्या शिखरावरून भट्टी पडल्यास ती पाचच सेकदांत जमिनीवर आली असती!

ह्या निशाणीच्या साहाय्याने प्राचीन ग्रीकांच्या विश्वाची व्याप्ती काय असावी हे शोधून काढायला आपल्याला फारसा वेळ लागणार नाही, आधुनिक कल्पनांच्या मानाने ती फारच तोकडी आहे.

चंद्राला **पृथ्वीवर पोहोचायला** पाच दिवस लागतील हे आपल्याला माहीत आहे; **पुराणातल्या त्या भट्टीला ९ दिवस लागले.** त्या अर्थी जेथून भट्टी पडली तो स्वर्लोक चंद्राच्या कक्षेपेक्षा दूर असावा. पण किती दूर? ९ दिवसास $\sqrt{३२}$ ने गुणल्यास भट्टीचा पृथ्वीभोवतालचा परिभ्रमणकाल मिळेल, अर्थात ही भट्टी आपल्या पृथ्वीचा उपग्रह असल्याचे समजून! हा काल येतो ९x५.६५=५१ दिवस. आता चंद्राला आणि ह्या काल्पनिक भट्टीरूप उपग्रहाला केप्लरचा तिसरा नियम लावूया :

$$\frac{(\text{चंद्राचा परिभ्रमण काल})^{२}}{(\text{भट्टीचा परिभ्रमण काल})^{२}} = \frac{(\text{चंद्राचे अंतर})^{३}}{(\text{भट्टीचे अंतर})^{३}}$$

यावरून भट्टीचे अंतर सहज काढता येईल.

हे अंतर

$$\frac{\sqrt[३]{५१ \times ३,८०००^{३}}}{\sqrt[३]{२७.३^{२}}} = ३८०००० \frac{\sqrt[३]{५१^{२}}}{\sqrt[३]{२७.३^{२}}}$$

उत्तर येते ५,८०,००० किलोमीटर! आधुनिक ज्योतिःशास्त्राच्या प्रकाशात, आकाशाच्या उंचीबद्दलची प्राचीन ग्रीकांची कल्पना किती तोकडी वाटते! **चंद्रापेक्षा फक्त १।। पट दूर!** आपल्या दृष्टीने विश्वाची जेथे नुकतीच कुठे सुरुवात होते तेथेच त्यांचे विश्व संपत होते.

सूर्यकुलाच्या सीमा

केप्लरच्या तिसऱ्या नियमाच्या आधारे आपण आपल्या सूर्यकुलाच्या सीमा किती अंतरावर आहेत हेही काढू शकतो, मात्र त्यासाठी धूमकेतूच्या कक्षांवरील दूरतम बिंदू (त्यांचे अपसूर बिंदू) हे सीमेवरचे बिंदू धरले पहिजेत. आपण अगोदर या प्रश्नांची चर्चा केलेलीच आहे म्हणून या ठिकाणी फक्त योग्य ती गणना करून पाहू. ७७६ वर्षांइतका दीर्घ परिभ्रमणकाल असणाऱ्या धूमकेतूंचा आपण प्रकरण ३ मध्ये उल्लेख केला होता. त्याचा निकटतम (अनुसूर किंवा शीघ्रोच्च) बिंदू सूर्यापासून १८ लक्ष कि.मी. अंतरावर आहे या माहितीच्या आधारे त्याच्या अपसूर बिंदूचे अंतर क्ष आपण शोधून काढू. पृथ्वी हा आपला दुसरा गोल घेतल्यास खालीलप्रमाणे निष्पन्न होते,

$$\frac{७७६^{२}}{१^{२}} = \frac{[\frac{१}{२}(\text{क्ष}+१८,००,०००)]^{३}}{१५,००,००,०००^{३}}$$

अर्थात **क्ष** + १८,००,००० = २x१५,००,००,००० x $\sqrt[३]{७७६^{२}}$

आणि म्हणून **क्ष** = २५,३१,८०,००,००० किलोमीटर.

यावरून दिसेल की हे **धूमकेतू** सूर्यापासून पृथ्वीपेक्षा १८२ पट दूर आणि ज्ञात ग्रहांपैकी **सर्वात दूरचा जो प्लुटो त्याच्यापेक्षा ४।। पट दूर जाऊन येतात.**

जूल व्हर्नच्या पुस्तकातील चूक

'हेक्टर सर्वादाक' या पुस्तकात जूल व्हर्नने गॅलियम नावाच्या काल्पनिक धूमकेतूवर गोष्ट घडत असल्याचे दाखविले आहे; हा धूमकेतू २ वर्षांत एक सूर्यप्रदक्षिणा पूर्ण करीत असल्याचे म्हटले आहे. तसेच ह्या धूमकेतूचा अपसूर बिंदू सूर्यापासून ८२ कोटी मैल दूर असल्याचा पुस्तकात उल्लेख आहे. अनुसूर बिंदू दिलेला नाही, तरीसुद्धा दिलेल्या दोन आकड्यांच्या आधारे आपण निश्चित सांगू शकतो की अशा तऱ्हेचा धूमकेतू आपल्या सूर्यकुलात अस्तित्वात नाही. केप्लरच्या तिसऱ्या नियमानुसार गणित करून ही गोष्ट आपण सिद्ध करू.

अनुसूर बिंदूचे अज्ञात अंतर **क्ष** कोटी किलोमीटर आहे असे धरूया. मग धूमकेतूच्या कक्षेचा बृहद्व्यास (**क्ष**+८२) कोटी कि.मी. होईल आणि बृहद् अर्ध-व्यास $\frac{\text{क्ष}+८२}{२}$ कोटी कि.मी. धूमकेतूचा परिभ्रमणकाल व अंतर आणि

पृथ्वीचा परिभ्रमणकाल व अंतर यांची तुलना करता $\frac{२^२}{१^२} = \frac{(क्ष + ८२)^३}{२^३ \times १५^३}$
त्या अर्थी **क्ष** = -३४.३.

धूमकेतूचे किमान अंतर देणारी संख्या ऋण आहे, हाच सदर प्रश्नाबाबत दिलेल्या मूळ माहितीतील विसंगतीचा पुरावा होय. दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे दोन वर्षांइतका अल्प परिभ्रमणकाल असणारा धूमकेतू जूल व्हर्नने आपल्या पुस्तकात दिलेल्या अंतरावर जाऊच शकत नाही.

पृथ्वीचे वजन कसे केले?

अशीही एक गोष्ट सांगतात की ज्योतिःशास्त्रज्ञांना ताऱ्यांची नावे माहीत आहेत हे ऐकून त्या शास्त्राचा अभ्यास करणाऱ्या एका भोळ्या इसमास मोठाच अचंबा वाटला! परंतु गांभीर्यपूर्वक सांगायचे झाले तर आपण राहतो ती पृथ्वी आणि दूरची आकाशस्थ तेजे या सर्वांचे **वजन** करण्यात ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी संपादन केलेले यश हा कदाचित त्यांचा सर्वात विस्मयकारक विक्रम असेल. खरोखर पृथ्वी आणि आकाश यांचे वजन केले तरी कसे आणि त्यासाठी तराजू तरी कोणता वापरला?

प्रथम, पृथ्वीचे वजन कसे केले? पण 'पृथ्वीचे वजन' याचा अर्थ तरी काय? एखाद्या वस्तूचा तिच्या आधारावरील दाब, किंवा ती टांगलेली असल्यास अवलंबन बिंदूवरची तिची ओढ यालाच आपण वजन म्हणतो. परंतु पृथ्वी कशावर टेकलेली नाही किंवा कुठून टांगलेलीही नाही. त्यामुळे वरील दोन्ही गोष्टी तिला लागू नाहीत! म्हणून या दृष्टीने पृथ्वीला वजन नाही. मग ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी 'पृथ्वीचे' वजन केले तेव्हा त्यांनी काय निश्चित केले? त्यांनी तिचे **वस्तुमान** निश्चित केले. वस्तुतः आपण दुकानदाराला १ किलो साखर द्यायला लागतो तेव्हा तिच्या आधारावर किती दाब येतो आणि स्प्रिंगच्या काट्यावर तिचा ताण किती पडतो, याच्याशी आपल्याला काही कर्तव्य नसते. साखरेच्या बाबतीत आपल्याला अगदी वेगळीच गोष्ट हवी असते. किती कप चहा गोड करता येईल, किंवा दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे ह्या एका किलोत साखर ह्या द्रव्याचे परिमाण किती असेल हे आपल्याला हवे असते.

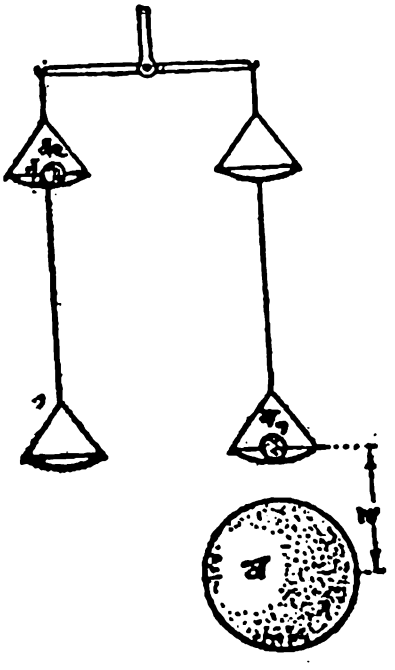
पण **हे द्रव्यपरिमाण मोजण्याचा एकच मार्ग आहे. तो म्हणजे एखाद्या वस्तुवरील पृथ्वीचे आकर्षण मोजणे.** द्रव्यांची समान परिमाणे म्हणजे समान वस्तुमान असे आपण गृहीत धरतो आणि ज्या अर्थी आकर्षण वस्तुमानाच्या

प्रमाणात असते त्या अर्थी केवळ आकर्षणशक्तीवरून आपण वस्तुमान निश्चित करतो.

पृथ्वीच्या वजनाच्या बाबतीत **तिचे वस्तुमान** कळले म्हणजे तिचे 'वजन'देखील आपल्याला सांगता येईल असे आपण म्हणतो; **सारांश, पृथ्वीचे वजन करणे म्हणजे तिचे वस्तुमान निश्चित करणे होय.**

हा प्रश्न सोडविण्याच्या एका पद्धतीचे (जॉलीची पद्धती, १८७१) वर्णन खालीलप्रमाणे आहे : आकृती ८६ मध्ये एक अत्यंत सूक्ष्मचेतन तराजू दाखविला आहे. तराजूच्या दोन्ही टोकास प्रत्येकी दोन पारडी लटकलेली आहेत, एक वर आणि एक खाली; पारडी हलकी असून वरच्या व खालच्या पारड्यात २० ते २५ से.मी. अंतर आहे. उजवीकडच्या खालच्या पारड्यात $व_१$ वस्तुमानाचा एक गोळा आपण ठेवू. समतोल साधण्यासाठी डावीकडच्या वरच्या पारड्यात $व_२$ हे वजन ठेवू. $व_१$ आणि $व_२$ सारखी नाहीत, कारण ती भिन्न भिन्न उंचीवर असल्याकारणाने त्यांच्यावरील पृथ्वीचे आकर्षणही भिन्न भिन्न आहे. नंतर उजवीकडच्या खालच्या पारड्याच्या खाली **व** वस्तुमानाचा एक मोठा शिशाचा गोळा ठेवला की तराजूचा समतोल बिघडेल, कारण आता $व_१$ ला शिशाच्या गोळ्याचे **व** वस्तुमान $फ_१$ या प्रेरणेने किंवा शक्तीने ओढू पाहील; $फ_१$ उभय

आकृती ८५ : पृथ्वीचे वजन करण्यासाठी कोणता तराजू वापरला असेल?



आकृती ८६ : पृथ्वीचे वस्तुमान शोधून काढण्याची एक पद्धती; जॉलीचा तराजू.

वस्तुमानांच्या गुणाकाराच्या समप्रमाणात आणि दोहोंच्या मध्यामधील अंतर दच्या वर्गसंख्येच्या व्यस्त प्रमाणात बदलते.

$फ_१ = क\ व_१\ \mathbf{व} / द^२$

या ठिकाणी क हा गुरुत्वशक्तीचा स्थिरांक होय.

बिघडलेला समतोल पुन्हा साधण्यासाठी आपण डावीकडच्या वरच्या पारड्यात न वस्तुमानाचे लहानसे वजन ठेवू. पारड्यावरचा त्याचा दाब त्याच्या वजनाएवढा असेल म्हणजे त्या वजनावर पृथ्वीच्या समग्र वस्तुमानाची जी आकर्षणशक्ती आहे तिच्याएवढा असेल. ही प्रेरणा

$फ^१ = कनव_पृ / त्रि^२$

शिशाच्या गोळ्याचा डावीकडील वरच्या पारड्यातील वजनावरही परिणाम होईल पण तो नगण्य आहे; तो सोडून समतोल राखण्यासाठी

$$फ_१ = फ' \text{ किंवा } \frac{व_१\ \mathbf{व}}{द^२} = \frac{न\ \mathbf{व}_पृ}{त्रि^२}$$

या समीकरणात $व_पृ$ म्हणजे पृथ्वीचे वस्तुमान सोडून बाकी सर्व घटक आपल्याला माहीत आहेत. ह्या प्रयोगात

व = ५७७५.२ किलोग्रॅम, त्रि = ६३६६ कि.मी.

द = ५६.८६ सें.मी; $व_१$ = ५.०० कि.ग्रॅ. आणि न = ५८९ मिलिग्रॅम. म्हणून पृथ्वीचे वस्तुमान ६.१५ X $१०^{२७}$ ग्रॅम.

अनेक प्रायोगिक मोजमापाच्या आधारे निश्चित झालेले **पृथ्वीचे वस्तुमान** ५.९७४ X $१०^{२७}$ ग्रॅम किंवा सुमारे **६००० अब्ज अब्ज टन (सहावर २१ पूज्ये!) आहे.** यात चूक शेकडा ०.१ पेक्षा अधिक असणे शक्य नाही. पृथ्वीचे वस्तुमान ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी अशा पद्धतीने शोधून काढले. त्यांनी पृथ्वीचे **वजन केले** असे म्हणण्याचा आपणाला पूर्ण अधिकार आहे. कारण जेव्हा आपण तराजूवर वस्तू तोलतो तेव्हा त्याचे खरे **वजन** म्हणजे त्यांना आकर्षिणारी पृथ्वीची प्रेरणा आपण ठरवीत नसतो तर त्यांचे **वस्तुमान** निश्चित करीत असतो. कोणत्याही वस्तूचे वस्तुमान त्या त्या वजनाच्या वस्तुमानाएवढेच आहे हे आपण सिद्ध करीत असतो.

पृथ्वीच्या आतमध्ये काय आहे?

सुगम विज्ञानावरील पुस्तकांत आणि लेखांत कधी कधी एक चूक आढळते, ती या ठिकाणी सांगून ठेवणे युक्त होईल. विषय सोपा करून सांगण्यासाठी पृथ्वीचे वजन करण्याचे कार्य पुढील प्रकारे रेखाटण्यात येते : प्रथम ज्योतिःशास्त्रज्ञांनी आपल्या ग्रहाच्या १ घन सें.मी.चे सरासरी वजन, म्हणजे पृथ्वीची घनता मापली; मग भूमितीच्या साहाय्याने तिचे एकूण घनफळ काढले आणि मग घनफळ व घनता यांचा गुणाकार करून पृथ्वीचे वजन काढले! पण ही पद्धत व्यवहार्य नाही, कारण पृथ्वीची घनता आपण प्रत्यक्ष मापू शकत नाही. पृथ्वीचा तुलनात्मकदृष्ट्या अत्यंत पातळ असा बाहेरचा पापुद्रा तेवढा आपल्या मोजमापाच्या आटोक्यात आहे आणि त्या मानाने खूप मोठ्या अशा बाकीच्या भागाबद्दल आपल्याला काहीच कल्पना नाही.

वस्तुतः हा प्रश्न सर्वस्वी वेगळ्याच तऱ्हेने हाताळण्यात आला हे आपल्याला अगोदरच माहीत झाले आहे; पृथ्वीची सरासरी घनता कळण्यापूर्वी तिचे वस्तुमान निश्चित करण्यात आले. त्यावरून ही घनता दर १ सें.मी.ला ५.५ ग्रॅम असल्याचे आढळले; ही घनता **पापुद्र्याच्या** सरासरी घनतेहून पुष्कळ जास्त आहे. यावरून पृथ्वीच्या अंतर्भागात पुष्कळ जड द्रव्ये असावीत असा निष्कर्ष निघतो. अपेक्षित घनता (व इतर काही गोष्टी) यांच्या आधारे पूर्वी असे मानण्यात येत असे की आपल्या ग्रहाचा अंतर्भाग लोखंडाचा असावा व तो भोवतालच्या द्रव्याखाली अतिशय दाबलेला असावा. परंतु आता सामान्यपणे असे मत आहे की, **पृथ्वीच्या आतला भाग अंतःघटनेच्या बाबतीत बाह्य पापुद्र्याहून वेगळा नसावा. पण त्याची घनता बाह्य भागाच्या प्रचंड दाबामुळे जास्त असावी.**

सूर्य आणि चंद्र यांचे वजन

ऐकायला थोडे विचित्र वाटते पण खरी गोष्ट ही की जवळच्या चंद्रापेक्षा दूरच्या सूर्याचे वजन निश्चित करणे कितीतरी जास्त सोपे ठरेल. (ह्या गोलांच्या बाबतीत 'वजन' हा शब्द स्वाभाविक पृथ्वीप्रमाणेच वापरला आहे; त्यांची **वस्तुमाने** निश्चित करणे हेच त्यात अभिप्रेत आहे.)

सूर्याचे वस्तुमान पुढीलप्रमाणे शोधून काढण्यात आले : १ ग्रॅमचे वस्तुमान १ सें.मी. अंतरावरच्या १ ग्रॅम वस्तुमानास १ ÷ १,५०,००,००० मिलिग्रॅम शक्तीने किंवा प्रेरणेने आकर्षिते असे प्रयोगांती आढळून आले आहे. द अंतरावरच्या $व_१$ आणि $व_२$ ह्या वस्तुमानांच्या दोन वस्तूंमधील परस्पर आकर्षण फ सार्वत्रिक

गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमानुसार खालीलप्रमाणे व्यक्त होते :

$$फ = \frac{१}{१,५०,००,०००} \times \frac{व_१ \; व_२}{द^२} \text{ मिलिग्रॅम}$$

सूर्याचे वस्तुमान $व_१$ (ग्रॅममध्ये), पृथ्वीचे वस्तुमान $व_२$ आणि दोहोंतील अंतर द घेतल्यास (द = १५ कोटी कि.मी.) दोहोंमधील परस्पर आकर्षण

$$\frac{१}{१,५०,००,०००} \times \frac{व_१ \; व_२}{१५,०००,०००,०००^२} \text{ मिलिग्रॅम}$$

उलटपक्षी आपल्या ग्रहास कक्षेत बांधून ठेवणारी केंद्राभिगामी प्रेरणा म्हणजे हीच आकर्षणशक्ती होय; गतिशास्त्राच्या नियमांनुसार ही प्रेरणा (मिलिग्रॅममध्ये) $\frac{व_२ \; ग^२}{द}$ आहे; यात $व_२$ हे पृथ्वीचे वस्तुमान, ग हा तिचा वर्तुळाकार वेग (दर सेकंदास ३० कि.मी. किंवा ३०,००,००० सें.मी./से) आणि द हे पृथ्वी व सूर्य यांमधील अंतर. म्हणून

$$\frac{१}{१,५०,००,०००} \times \frac{व_२ \; व_२}{द^२} = व_२ \times \frac{३०,००,०००^२}{द}$$

यावरून $व_१$ या अज्ञाताचे मूल्य (ग्रॅममध्ये) मिळते.

सूर्याचे वस्तुमान $व_१ = २ \times १०^{३३}$ ग्रॅम $= २ \times १०^{२७}$ टन

ह्या वस्तुमानास पृथ्वीच्या वस्तुमानाने भागल्यास

$(२ \times १०^{२७}) \div (\frac{१}{६} \times १०^{२१}) = ३\frac{१}{३}$ लक्ष, म्हणजे सूर्य पृथ्वीपेक्षा $३\frac{१}{३}$ लक्ष पटीने जास्त जड आहे.

केप्लरच्या तिसऱ्या नियमावर आधारलेल्या आणखी एका पद्धतीनेदेखील सूर्याचे वस्तुमान शोधून काढता येते. सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाच्या आधारे हा नियम खालील सूत्रात व्यक्त होतो :

$$\frac{(\mathbf{व} + व_१)}{(\mathbf{व} + व_२)} \; \frac{प_१^२}{प_२^२} = \frac{अ_१^३}{अ_२^३}$$

यात **व** = सूर्याचे वस्तुमान आणि व हे ग्रहाचे वस्तुमान, प हा त्याचा

परिभ्रमणकाल आणि अ त्याचे सूर्यापासूनचे सरासरी अंतर. हा नियम पृथ्वी आणि चंद्र यांस लागू केल्यास $व_१$, $प_१$ आणि $अ_१$ ही पृथ्वीची संबधित माने होतील आणि $व_२$ $प_२$ आणि $अ_२$ ही चंद्राची. यापैकी $अ_१$,$अ_२$, आणि $प_१$ व $प_२$ यांची मूल्ये निरीक्षणाच्या आधारे ठरविता येतात, अंश संख्येत सूर्याच्या मानाने पृथ्वीचे वस्तुमान क्षुल्लक म्हणून सोडून दिल्यास व छेदसंख्येत पृथ्वीच्या मानाने वस्तुमान क्षुल्लक म्हणून सोडून दिल्यास,

$$\frac{व}{व_१} = ३,३०,०००$$

पृथ्वीचे वस्तुमान माहीत असल्याने सूर्याचे वस्तुमान निश्चित करता येते, **सूर्य पृथ्वीपेक्षा ३,३०,००० पट जड** असल्याचे आढळते.

सूर्यगोलाची सरासरी घनता आपण सहज सांगू शकू; त्यासाठी सूर्याच्या वस्तुमानास त्याच्या घनफळाने भागले म्हणजे पुरे. **सूर्याची घनता पृथ्वीच्या घनतेच्या साधारण पावपट** असल्याचे आपल्याला आढळते.

चंद्राच्या बाबतीत एका ज्योति:शास्त्रज्ञाने म्हटल्याप्रमाणे "तो जरी इतर सर्व आकाशस्थ गोलांपेक्षा आपल्याजवळ असला तरी सर्वात दूरचा (त्या वेळी) ग्रह जो नेपच्यून त्यापेक्षा त्याचे वजन करणे जास्त कठीण आहे." चंद्राभोवती फिरणारा दुसरा उपचंद्र नसल्यामुळे वर ज्या पद्धतीने आपण सूर्याचे वस्तुमान काढले त्या पद्धतीने **चंद्राचे वस्तुमान** काढता येत नाही. त्यासाठी ज्योति:शास्त्रज्ञांना अधिक **गुंतागुंतीच्या पद्धतीचा आश्रय** घ्यावा लागला. त्यांपैकी एका पद्धतीचा फक्त मी उल्लेख करतो. **सूर्यामुळे येणारी भरती आणि चंद्रामुळे येणारी भरती या दोहोंच्या तुलनेवर ही पद्धती आधारलेली आहे.**

भरतीचे कारण असणाऱ्या गोलाच्या वस्तुमानावर आणि उंचीवर भरतीची उंची अवलंबून असते. सूर्याचे वस्तुमान आणि अंतर आपल्याला माहीत आहे; चंद्राचे अंतर आपल्याला माहीत आहे; तेव्हा भरतीच्या उंचीची तुलना करून आपण चंद्राचे वस्तुमान काढू शकतो. भरतीसंबंधी विवरण करताना पुढे आपण पुन्हा त्या गणनेचा विचार करू. सध्या आपण शेवटचे उत्तर पाहू, ते उत्तर असे : **चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या $\frac{१}{८१}$ आहे.** चंद्राचा व्यास आपल्याला माहीत आहे, त्यावरून चंद्राचे घनफळ आपण काढू शकतो, ते पृथ्वीच्या घनफळाच्या $\frac{१}{४९}$ निघते. त्या अर्थी आपल्या **उपग्रहाची सरासरी घनता पृथ्वीच्या घनतेच्या** मानाने $\frac{४९}{८१} = ०.६$ आहे.

म्हणजे चंद्र साधारपणे पृथ्वीपेक्षा अधिक भुसभुशीत द्रव्याचा बनलेला आहे. परंतु त्याची घनता सूर्याच्या घनतेपेक्षा अधिक आहे. चंद्राची सरासरी घनता बहुतेक ग्रहांच्या घनतेहून अधिक आहे हे आपण पुढे पाहू.

ग्रहताऱ्यांची वजने आणि घनता

सूर्याचे 'वजन करण्यासाठी' जी पद्धती आपण वापरली तीच निदान एक **उपग्रह असलेल्या कोणत्याही ग्रहाचे वजन** करण्यासाठी वापरता येईल. उपग्रहाच्या कक्षाभ्रमणाचा सरासरी वेग ग आणि ग्रहापासूनचे त्याचे सरासरी अंतर द, या दोन गोष्टी माहीत असल्यावर उपग्रहास कक्षेत ठेवणारी केंद्राभिगामी प्रेरणा $व_१ ग^२/द$ आणि उपग्रह आणि ग्रह यांमधील परस्पर आकर्षणाची प्रेरणा $क\ व_१ व_२/द^२$ या दोहोंचे समीकरण आपण लिहू शकतो. (क म्हणजे १ ग्रॅमची १ से.मी. अंतरावरील १ ग्रॅम वरची आकर्षण प्रेरणा, $व_१$ उपग्रहाचे वस्तुमान आणि $व_२$ ग्रहाचे वस्तुमान.).

$$\frac{व_१ ग^२}{द} = \frac{क\ व_१ व_२}{द^२} \text{ म्हणजेच } व_२ = \frac{द\ ग^२}{क}$$

या सूत्रावरून ग्रहाचे वस्तुमान $व_२$ सहज काढता येईल.

केप्लरचा तिसरा नियमदेखील याबाबतीत लागू पडतो.

$$\frac{(व+व_२)\ \ प_२^२}{(व_१+व_२)\ प_१^२} = \frac{अ_२^३}{अ_१^३}$$

या ठिकाणीदेखील कंसांतील सूक्ष्म संख्या सोडून दिल्यास आपल्याला सूर्याचे वस्तुमान आणि ग्रहांचे वस्तुमान यांचे प्रमाण $\frac{व}{व_२}$ मिळते. सूर्याचे वस्तुमान माहीत असल्यामुळे ग्रहाचे वस्तुमान सहज सिद्ध होते.

हीच पद्धती जोड ताऱ्यांसाठी वापरता येते; फरक एवढाच की जोडीमधील ताऱ्यांचे पृथक वस्तुमान न मिळता त्यांच्या वस्तुमानांची बेरीज कळेल.

ग्रहांचे उपग्रह आणि उपग्रहविरहित ग्रह यांची वस्तुमाने निश्चित करणे पुष्कळ जास्त अवघड आहे.

बुध आणि शुक्र यांचा परस्परांच्या व पृथ्वीच्या, तसेच काही धूमकेतूंच्या गतीवर जो परिणाम होतो त्याचा हिशेब करून बुध आणि शुक्र यांची वस्तुमाने शोधून काढण्यात आली.

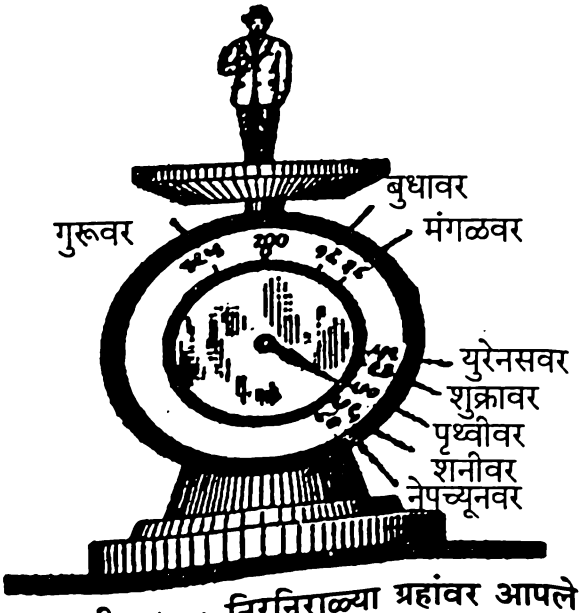
लघुग्रहांची वस्तुमाने एवढी लहान आहेत की त्यांचा एकमेकांच्या गतीवर परिणाम जवळ जवळ होतच नाही; त्यांची वस्तुमाने निश्चित करणे साधारणतः अशक्य आहे. ह्या छोट्या ग्रहांच्या एकूण वस्तुमानांची मर्यादा काय असेल एवढेच आपल्याला माहीत आहे आणि तेही अनुमानधक्क्यानेच.

पृथ्वी आणि बुध हे घनतेच्या बाबतीत ग्रहकुलाच्या आघाडीवर आहेत. मोठ्या ग्रहांची सरासरी घनता कमी असण्याचे कारण त्यापैकी प्रत्येकाच्या घनरूप अंतर्भागाभोवती फार प्रचंड वातावरण आहे; ह्या वातावरणाचे वस्तुमान कमी असते पण ग्रहांचे दर्शनीय घनफळ मात्र त्यामुळे पुष्कळ वाढते.

चंद्र व ग्रह यांवर पदार्थांचे वजन

चंद्रावर किंवा ग्रहांवर कधी ज्यांनी पाऊल ठेवले नाही असे ज्योतिःशास्त्रज्ञ त्यांच्या पृष्ठभागावरील गुरुत्वाकर्षणाबद्दल एवढ्या खात्रीपूर्वक कसे बोलू शकतात याचे, ज्योतिःशास्त्राबद्दल अंधुक ज्ञान असणाऱ्या सामान्यजनांना पुष्कळ वेळा नवल वाटते. वस्तुतः एखादी वस्तू दुसऱ्या जगात नेली तर तेथे तिचे वजन काय होईल हे सांगणे फारसे कठीण नाही. त्या त्या आकाशस्थ गोलाची त्रिज्या व त्याचे वस्तुमान या दोन गोष्टी माहीत असल्या की झाले.

उदाहरणादाखल आपण चंद्राची गुरुत्वाकर्षणशक्ती शोधून काढू. चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या $\frac{१}{८१}$ आहे हे आपल्याला अगोदर माहीत आहे. पृथ्वीचे वस्तुमान एवढे असते तर तिचे पृष्ठभागावरील गुरुत्वाकर्षण आज आहे त्याच्या $\frac{१}{८१}$ च झाले असते. परंतु न्यूटनच्या नियमानुसार कोणत्याही गोलाचे आकर्षण, जणू त्या गोलाचे सारे वस्तुमान त्याच्या मध्यात केंद्रिभूत झाले आहे अशाच प्रकारचे असते. पृथ्वींचा मध्य पृष्ठभागापासून तिच्या त्रिज्येएवढ्या अंतरावर आहे. चंद्राचा मध्य त्याच्या त्रिज्येएवढ्या अंतरावर आहे. परंतु चंद्राची त्रिज्या पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या



आकृती ८७ : निरनिराळ्या ग्रहांवर आपले वजन किती होईल?

$\frac{२७}{१००}$ आहे आणि अंतर $\frac{१००}{२७}$ पट कमी होते तेव्हा तेव्हा गुरुत्वाकर्षण $१००^२ \div २७^२$ पट वाढते. वस्तुमान आणि अंतर या दोहोंतील भिन्नतेपायी, चंद्राचे पृष्ठभागावरील गुरुत्वाकर्षण $\frac{१}{८१} \times \left(\frac{१००}{२७}\right)^२$ म्हणजे पृथ्वीच्या मानाने साधारण $\frac{१}{६}$ असेल.

म्हणून **१ किलोग्रॅमचे वजन चंद्रावर फक्त $\frac{१}{६}$ किलो होईल.** अर्थात ही वजनातील घट दांडाचा तराजू वापरल्यास लक्षात येणार नाही. स्प्रिंगच्या काट्यावरच ती दिसेल. (आकृती ८७).

गमतीची गोष्ट ही की चंद्रावर पाणी असते तर त्या पाण्यात पोहणाऱ्या माणसाला पृथ्वीवर पोहताना जसे वाटते तसेच चंद्रावरही वाटेल. कारण जरी त्याचे वजन एकषष्ठांश झाले तरी त्याच्या शरीराने दूर सारलेल्या पाण्याचेही वजन एकषष्ठांशच असते. अशा तऱ्हेने दोहोंतील प्रमाण पृथ्वीवर असते तेच राहते आणि म्हणून चांद्र जलातील माणसाची स्थिती पार्थिव जलातल्यासारखीच होते.

मात्र पाण्याबाहेर निघण्यासाठी चंद्रावर बरीच कमी शक्ती लागेल; कारण पोहणाऱ्याच्या शरीराचे वजन कमी झाल्यामुळे त्याच्या स्नायूंवरील ताण तेवढाच कमी होईल.

गुरुत्वाकर्षणाच्या बाबतीत पृथ्वीचा क्रमांक चौथा आहे; गुरू, नेपच्यून आणि शनी तिच्यापुढे आहेत.

वजनाचा उच्चांक

प्रकरण ४ मध्ये ज्याचा उल्लेख येऊन गेला त्या व्याधाच्या सहचरीसारख्या 'सफेद खुजांच्या' किंवा श्वेतवर्णीय लहान ताऱ्यांच्या **पृष्ठभागावर गुरुत्वाकर्षण अधिकतम** असते. ह्या तेजोगोलांचे वस्तुमान अफाट, उलट त्याची त्रिज्या तुलनात्मकदृष्ट्या लहान, यामुळे त्यांचे पृष्ठ-गुरुत्वाकर्षण बरेच मोठे असते. शर्मिष्ठा पुंजांतील अशा एका ताऱ्याचे वस्तुमान सूर्यापेक्षा २.८ पटीने जास्त आहे, उलट त्याची त्रिज्या पृथ्वीच्या अर्धी आहे; त्या ताऱ्यावरील पृष्ठ-गुरुत्वाकर्षणाचे मान आपण पाहू.

सूर्याचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानापेक्षा ३,३०,००० पट मोठे आहे हे लक्षात असू द्या : त्यामुळे ह्या ताऱ्याचे पृष्ठ-गुरुत्वाकर्षण पृथ्वीच्या मानाने $२.८ \times ३,३०,००० \times २^२ = ३७,००,०००$ पट जास्त असेल.

आपल्या भूपृष्ठावर **१ घन सें.मी. पाण्याचे** वजन १ ग्रॅम असते, पण **या ताऱ्याच्या पृष्ठभागावर त्याचे वजन जवळ जवळ ३$\frac{३}{४}$ टन होईल!**

ह्या अद्‌भुत जगात ताऱ्याच्या घटकद्रव्यापैकी १ घन सें.मी. द्रव्याचे वजन ३७,००,००० x ३,६०,००,०००=१३३,२००,०००,०००,००० ग्रॅम होईल. चिमूटभर द्रव्य आणि त्याचे वजन मात्र १० कोटी टनांहून जास्त! थोड्याच काळापूर्वी अशी गोष्ट कोणाच्या कल्पनेतही आली नसती!

ग्रहांच्या अंतर्भागांतील वजन

ग्रहांच्या खूप आत, एखाद्या अतिशय खोल खाणीच्या तळाशी एखादी वस्तू ठेवली तर तिचे वजन कितपत बदलेल?

पुष्कळ लोकांची समजूत असते की अशा खाणीच्या तळाला ती वस्तू ग्रहमध्याच्या म्हणजे सर्व वस्तूंना आकर्षिणाऱ्या बिंदूच्या अधिक जवळ असते व त्यामुळे ती अधिक जड होईल. परंतु हा युक्तिवाद चुकीचा आहे, कारण ग्रहाच्या आत जसजसे आपण अधिक खोल जाऊ तसतशी आकर्षणशक्ती वाढण्याऐवजी कमीच होत जाते.

'मनोरंजक पदार्थविज्ञान' या माझ्या पुस्तकात वाचकाला या चमत्काराचे सविस्तर स्पष्टीकरण सापडेल. पुनरावृत्ती टाळण्यासाठी या ठिकाणी मी फक्त खालील गोष्टी नमूद करतो.

एकजिनसी गोलाकर आवरणाच्या आतल्या पोकळीत एखादी वस्तू ठेवल्यास तिचे वजन संपूर्णपणे नाहीसे होते, असे गतिशास्त्र सांगते (आकृती ८९). यावरून असा निष्कर्ष निघतो की ही वस्तू जर एखाद्या घन एकजिनसी गोलाच्या आत ठेवली तर, त्या वस्तूचे गोलाच्या मध्यापासून जे अंतर असेल त्या अंतराएवढी त्रिज्या असणाऱ्या गोलातील पदार्थच तिला आकर्षित असतो. (आकृती ९०).

एखादी वस्तू ग्रहमध्याच्या अधिक जवळ जसजशी जाईल तसतसे तिचे वजन कसे बदलेल हे सांगणारा नियम, वरील दोन प्रयोगांच्या आधारे, सहज तयार करता येतो. ग्रहाची त्रिज्या **त्रि** असू द्या आणि ग्रहमध्यापासून वस्तूचे अंतर त्रि असू द्या; मग आपल्याला असे आढळते की एकीकडे वस्तूवरचे

गुरुत्वाकर्षण $\left(\frac{\text{त्रि}}{\text{त्रि}}\right)^{२}$ पट वाढते आणि त्याच वेळी दुसरीकडे ते $\frac{\text{त्रि}^{३}}{\text{त्रि}^{३}}$ पट कमी होत जाते. (कारण तिला आकर्षिणारा भाग त्या प्रमाणात कमी होत जातो.).

अंतिमदृष्ट्या गुरुत्वाकर्षण $\left(\frac{\text{त्रि}}{\text{त्रि}}\right)^{३} \Big/ \left(\frac{\text{त्रि}}{\text{त्रि}}\right)^{२}$ — म्हणजे $\frac{\text{त्रि}}{\text{त्रि}}$ पट कमी होईल.

म्हणून ग्रहाच्या आत मध्यापासूनचे अंतर जेवढ्या पटीने कमी होईल तेवढ्या पटीने वस्तूचे वजनही कमी होईल. आपल्या पृथ्वीची त्रिज्या ६४०० कि.मी. आहे, तेव्हा ३२०० कि.मी. खोलीवर वस्तूचे वजन अर्धे होईल, ५६०० कि.मी. खोल गेल्यास $\frac{६४००}{६४००-५६००}$ =८ पट कमी होईल. ग्रहाच्या मध्यावर वस्तूचे वजन संपूर्णपणे नाहीसे होईल कारण

$$\frac{६४००-६४००}{६४००}=०.$$

अर्थात ही शेवटची गोष्ट गणित न करताही सांगता आली असती; कारण ग्रहमध्यावरची वस्तू सभोवतालच्या पदार्थाकडून सर्व बाजूंनी सारख्याच शक्तीने आकर्षिली जाते.

आपण वर जे सांगितले आहे ते केवळ **एकजिनसी** घनतेच्या ग्रहासच लागू पडते आणि खऱ्या ग्रहांना लागू करताना त्यात काही दुरुस्ती करावी लागेल. विशेषकरून पृथ्वीची घनता पृष्ठसमीप भागापेक्षा अंतर्भागात अधिक आहे व त्यामुळे मध्याजवळ जाताना गुरुत्वाकर्षण बदलण्याबाबत जो नियम पृथ्वीला लागू होतो तो वरील नियमाहून थोडा वेगळा आहे; काही अंतरापर्यंत (तुलनात्मकदृष्ट्या अल्प) गुरुत्वाकर्षण वाढते, त्याहून खोल गेल्यानंतर ते कमी होत जाते.

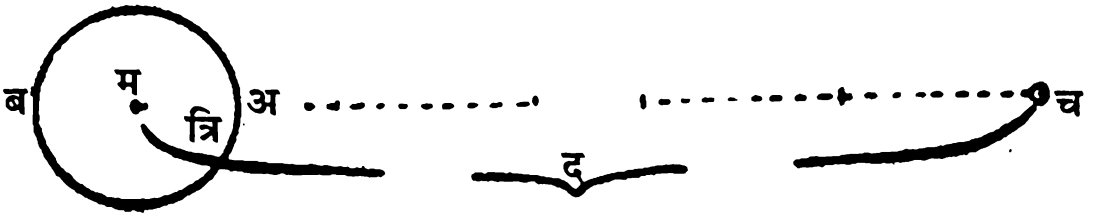
आगबोटीचे कोडे

आगबोट अधिक हलकी केव्हा असते, चांदण्या रात्री की अमावास्येच्या रात्री?

हा प्रश्न वाटतो त्याहून अवघड आहे. चांदण्या रात्री आगबोट आणि

चंद्रप्रकाशित भूगोलार्धावरील सर्वच वस्तू अमावास्येच्या रात्रीतल्यापेक्षा हलक्या असाव्यात कारण "चंद्र त्यांना ओढत असतो" असे आपण सरळ ठोकून देऊ शकत नाही. कारण आगबोटीला आकर्षिताना चंद्र समग्र पृथ्वीलाच आकर्षित असतो. निर्वात आकाशात गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावाखाली सर्व वस्तू सारख्याच वेगाने फिरू लागतात; चंद्राचे गुरुत्वाकर्षण पृथ्वीला आणि आगबोटीला सारखाच प्रवेग देते. यामुळे आपल्याला वजनात काही घट आढळणार नाही आणि तरीदेखील चांदण्या रात्रीमध्ये आगबोट अमावास्येच्या रात्रीपेक्षा अधिक हलकी बनते हे खरे आहे.

याचे कारण असे : आकृती ८८ मध्ये **म** हा पृथ्वाचा मध्य आहे, **अ** आणि **ब** ही पृथ्वीच्या एक व्यासाच्या दोन टोकावरची आगबोट आहे, **त्रि** ही पृथ्वीची



आकृती ८८ : चांद्र आकर्षणाचा पृथ्वीवरील कणावर होणारा परिणाम

त्रिज्या आहे, **च** हा चंद्राचा मध्य आहे आणि **द** हे **म** व **च** ह्या दोन मध्यांतील अंतर आहे. $व_१$ हे चंद्राचे वस्तुमान आहे आणि $व_२$ हे आगबोटीचे. गणना सोपी व्हावी म्हणून **अ** आणि **ब** हे दोन बिंदू चंद्राच्या खस्वस्तिकाशी आणि अध:स्वस्तिकाशी एकरूप आहेत असे गृहीत धरू. **अ** बिंदूवर चंद्राची आकर्षणशक्ती (चांदण्या रात्रीची) :

$$\frac{क\, व_१\, व_२}{(द+त्रि)^२}, \quad क = \frac{१}{१५०००००}$$

ब बिंदूवर (अमावास्येरात्री) चंद्राची आकर्षणशक्ती

$$\frac{क\, व_१\, व_२}{(द+त्रि)^२}$$

दोहांतील फरक $क\, व_१\, व_२ \; \frac{४\, त्रि}{द^३ \times \left[१-\left(\frac{त्रि}{द}\right)^२\right]^२}$

$\left[\frac{त्रि}{द}\right]^२ = \left[\frac{१}{६०}\right]^२$ ही अगदीच नगण्य संख्या असल्याने ती सोडावी.

त्याने ही पदावली फार सोपी होते, ती म्हणजे –

$$क\ व_१\ व_२ \times \frac{४\ त्रि}{द^३}$$

$$= \frac{क\ व_१ व_२}{द^२} \times \frac{४\ त्रि}{द} = \frac{क\ व_१ व_२}{द^२} \times \frac{१}{१५}$$

$\frac{क\ व_१ व_२}{द^२}$ म्हणजे काय? स्वत:च्या मध्यापासून **द** अंतरावरच्या आगबोटीवर चंद्राच्या आकर्षणाची शक्ती. चंद्र पृष्ठावर $व_२$ वस्तुमानाच्या आगबोटीचे वजन $\frac{व_२}{६}$ होईल. चंद्रापासून **द** अंतरावर आकर्षणशक्ती $\frac{व}{६द^२}$ होईल. द=२२० चंद्रत्रिज्या म्हणून

$$\frac{क\ व_१ व_२}{द^२} = \frac{व_२}{६ \times २२०^२} \simeq \frac{व_२}{३००,०००}$$

म्हणून दोन्ही आकर्षणशक्तीतील फरक

$$\frac{क\ व_१ व_२}{द^२} \times \frac{१}{१५} \simeq \frac{व_२}{३,००,०००} \times \frac{१}{१५} = \frac{व_२}{४५,००,०००}$$

आगबोटीचे वजन ४५००० टन असल्यास चांदण्या रात्री व अमावास्येच्या रात्री आगबोटीच्या वजनातील फरक :

$$\frac{४,५०,००,०००}{४५,००,०००} = १०\ \text{किलोग्रॅम}$$

अर्थात हा फरक उपेक्षणीय आहे, तरीसुद्धा चांदण्या रात्री आगबोट अमावस्येच्या रात्रीपेक्षा हलकी आहे.

चांद्र आणि सौर भरती

भरती आणि ओहोटी येण्याचे मुख्य कारण समजून घेण्यास वरील उदाहरणाची आपल्याला मदत होईल. केवळ सूर्याच्या किंवा चंद्राच्या आकर्षणामुळे भरतीची लाट वर येते असे समजणे चूक होईल. कारण भूपृष्ठावरील वस्तूंखेरीज खुद्द पृथ्वीलाही चंद्र आकर्षित असतो. हे मागे सांगून झालेच आहे. मुद्दा आहे तो हा की चंद्रासमोरच्या भूपृष्ठावरील जलकणांपेक्षा पृथ्वीचा मध्य आकर्षणकारी केंद्रापासून अधिक दूर आहे. यामुळे आकर्षणात जो फरक पडतो त्याची गणना वर ज्या

पद्धतीने आगबोटीवरील आकर्षणांतील फरक आपण काढला होता त्याच पद्धतीने होते. ज्या ज्या ठिकाणी चंद्र डोक्यावर असतो त्या त्या ठिकाणी १ किलो पाण्यावरचे आकर्षण पृथ्वीमध्यावरील १ किलो पदार्थावरील आकर्षणापेक्षा $\frac{२क\ व_१ त्रि}{द^३}$ पट जास्त जोरदार असते; आणि पृथ्वीच्या दुसऱ्या बाजूस विरुद्ध बिंदूवरील १ किलो पाण्यावरचे आकर्षण त्याच प्रमाणात कमी असते.

हा जो फरक आहे त्यामुळेच उभय बाबतीत पाणी भूपृष्ठाच्या वर चढते. पहिल्या बाबतीत (चंद्राच्या समोरील बाजूस) ते चढते याचे कारण पृथ्वीच्या घनभागापेक्षा पाणी चंद्राकडे जास्त सरकते, दुसऱ्या बाबतीत (विरुद्ध बाजूस) पाण्यापेक्षा पृथ्वीचा घनभाग चंद्राकडे जास्त सरकतो.*

सूर्याच्या गुरुत्वाकर्षणाचाही सागराच्या पाण्यावर असाच परिणाम होतो. अधिक सामर्थ्यवान कोणते, सौर आकर्षण की चांद्र आकर्षण? दोहोंच्या **प्रत्यक्ष** गुरुत्वाकर्षणाची तुलना केली तर सौर आकर्षण अधिक सामर्थ्यवान असल्याचे आढळेल. सूर्याचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या ३,३०,००० पट आहे ; चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या $\frac{१}{८१}$ पट आहे, म्हणजे चंद्राचे वस्तुमान सूर्याच्या वस्तुमानापेक्षा ३,३०,००० x ८१ पट कमी आहे. सूर्य-पृथ्वी अंतर २३,४०० पृथ्वी-त्रिज्येएवढे आहे तर चंद्र-पृथ्वी अंतर ६० पृथ्वी-त्रिज्येएवढे आहे. त्या अर्थी पृथ्वीवरचे सौर आकर्षण आणि चांद्र आकर्षण यांतील प्रमाण

$$\frac{३,३०,००० \times ८१}{२३,४००^२} : \frac{१}{६०^२} = १७०$$

याचा अर्थ प्रत्येक पार्थिव वस्तूवरील सौर आकर्षण चांद्र आकर्षणापेक्षा १७० पट सामर्थ्यवान आहे. यामुळे सौर भरती चांद्र भरतीपेक्षा अधिक उंच चढावी असे वाटण्याचा संभव आहे. प्रत्यक्षात उलट घडताना दिसते, चांद्र भरती अधिक उंच चढते. ही गोष्ट $\frac{२क\ व_१ व_२}{द^३}$ ह्या सूत्राशी पूर्णतया सुसंगत आहे. सूर्याचे वस्तुमान $व_स$ धरा, चंद्राचे $व_च$ धरा; पृथ्वी-चंद्र अंतर $द_च$ धरा;

---

* भरती-ओहोटीच्या मुख्य कारणाचीच फक्त आपण वर नोंद घेतली आहे; प्रत्यक्षात ही घटना अधिक गुंतागुंतीची आहे आणि तिच्यामागे इतरही कारणे आहेत. (पृथ्वी व चंद्र यांच्या वस्तुमानांच्या सामान्य मध्याभोवतीं पृथ्वीचे परिवलन होत असल्यामुळे निर्माण होणारा केंद्रोत्सारी प्रभाव इत्यादी.)

पृथ्वी-सूर्य अंतर $द_स$ आणि मग सूर्य आणि चंद्र यांच्या भरती आणण्याच्या सामर्थ्यातील प्रमाण

$$\frac{२क\ व_स\ त्रि}{द_स^३} : \frac{२क\ व_च\ त्रि}{द_च^३} = \frac{व_स}{व_च} \times \frac{द_च^३}{द_स^३}$$

चंद्राचे वस्तुमान आपल्याला माहीत असून ते पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या $\frac{१}{८१}$ आहे असे गृहीत धरूया. चंद्रापेक्षा सूर्य ४०० पट दूर आहे हे माहीत असल्यामुळे

$$\frac{व_स}{व_च} \times \frac{द_च^३}{द_स^३} = ३,३०,००० \times ८१ \times \frac{१}{४००^३} = ०.४२.$$

त्या अर्थी सौर भरती चांद्र भरतीपेक्षा २॥ पट लहान असावयास पाहिजे.

सौर आणि चांद्र भरतीच्या उंचीची तुलना करून चंद्राचे वस्तुमान कसे शोधून काढण्यात आले हे या ठिकाणी सांगणे युक्त होईल. या भरतीची उंची वेगवेगळी तर मोजता येत नाही; कारण सूर्य आणि चंद्र यांची क्रिया एकत्रच होत असते. परंतु ह्या दोन ज्योतींची युती होऊन भरती येते (म्हणजे चंद्र व सूर्य या दोघांना जोडणाऱ्या रेषेवरच पृथ्वी असते) तेव्हा आणि दोहोंची क्रिया परस्परविरुद्ध असते (सूर्य-पृथ्वी रेषा चंद्र-पृथ्वी रेषेशी काटकोन करते) तेव्हा दोन वेळा आपण भरतीची उंची मोजू शकतो. प्रत्यक्ष निरीक्षणावरून आढळले की दुसऱ्या खेपेची भरती पहिल्या खेपेच्या भरतीच्या उंचीच्या मानाने ०.४२ असते. चंद्राची भरती आणणारी शक्ती क्ष आणि सूर्याची य धरल्यास

$$\frac{क्ष+य}{क्ष-य} = \frac{१००}{४२} \text{ म्हणून } \frac{क्ष}{य} = \frac{७१}{२९}$$

तेव्हा मागे दिलेले सूत्र लागू करून

$$\frac{व_स}{व_च} \times \frac{द_च^३}{द_स^३} = \frac{२९}{७१} \text{ किंवा } \frac{व_स}{व_च} \times \frac{१}{६,४०,००,०००} = \frac{२९}{७१}$$

ज्या अर्थी सूर्याचे वस्तुमान $व_स$=३,३०,००० $व_प$ ($व_प$=पृथ्वीचे वस्तुमान), त्या अर्थी वरील समीकरणावरून

$व_प \div व_च = ८०$, म्हणजे चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या $\frac{१}{८०}$ आहे. जास्त काटेकोर गणित केल्यास चंद्राचे वस्तुमान पृथ्वीच्या वस्तुमानाच्या ०.०१२३ एवढे येते.

चंद्र आणि हवामान

आपल्या ग्रहावर हवेचा सागर पसरलेला आहे, त्यातही चंद्रामुळे भरती-ओहोटी येतात; त्यांचा हवेच्या दाबावर काय परिणाम होत असेल या प्रश्नाने बऱ्याच लोकांचे कुतूहल जागृत केलेले आहे. प्रख्यात रशियन शास्त्रज्ञ लामोनोसोव याने पृथ्वीच्या वातावरणातील भरती-ओहोटीचा शोध लावला होता व त्यास 'वायुलहरी' हे नाव दिले होते. अनेक लोकांनी या वायुलहरींबाबत संशोधन केले असले तरी अजून त्यांच्या कार्याबद्दल बऱ्याच चुकीच्या कल्पना प्रचलित आहेत. सामान्यजनांची समजूत असते की पृथ्वीच्या हलक्या व गतिशील वातारणात चंद्रामुळे भरतीच्या प्रचंड लाटा येत असाव्यात. भरती-ओहोटीमुळे वातावरणाचा दाब मोठ्या प्रमाणात कमी-अधिक होत असला पाहिजे आणि म्हणून हवामान ठरविण्यात त्यांना निर्णायक स्थान आहे असा दृढ विश्वास त्यांच्यात आढळतो.

परंतु वस्तुस्थिती तशी नाही. तात्त्विकदृष्ट्या आपण सिद्ध करू शकतो की वातावरणाच्या भरतीची उंची सागराच्या भरतीच्या उंचीहून अधिक असू शकत नाही. हे विधान आश्चर्यजनक वाटते; अगदी खालच्या थरांतील घनतर हवासुद्धा पाण्यापेक्षा हजारोपट हलकी असते, मग चंद्राच्या आकर्षणामुळे ती हजारो पट अधिक उंच कां चढू नये, असे वाटते. जड व हलक्या वस्तू सारख्याच वेगाने खाली पडतात ह्यात जेवढा विरोधाभास आहे त्याहून अधिक या घटनेत खास नाही.

निर्वात नळीमध्ये शिशाचा गोळा आणि पीस दोन्ही एकाच वेगाने खाली पडतात, हे दाखविणारा शाळेतला प्रयोग आठवा. चंद्राच्या (व सूर्याच्या) गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावाने पृथ्वी तिच्या अधिक हलक्या आवरणासह अवकाशात पडते या गोष्टीचा अंतिम परिणाम म्हणजे भरती-ओहोटी. विश्वाच्या निर्वात पोकळीत सर्व वस्तू, त्या जड असोत की हलक्या असोत, गुरुत्वाकर्षणामुळे सारख्याच वेगाने पडतात आणि सारखेच अंतर कापतात. अर्थात गुरुत्वाकर्षण केंद्रापासून त्यांचे अंतर समान असले तर.

आतापर्यंत जे काही सांगून झाले त्यावरून तुमच्या लक्षात येईल की, वातावरणातील भरतीची उंची सागरातील भरतीच्या उंची एवढीच असते. वस्तुतः भरतीची उंची शोधून काढण्यासाठी ज्या सूत्राचा आपण उपयोग केला त्या सूत्रात कोणत्या गोष्टी आहेत? चंद्र आणि पृथ्वी यांची वस्तुमाने, पृथ्वीची त्रिज्या आणि पृथ्वी व चंद्र यांमधील अंतर एवढ्याच गोष्टी त्यात आहेत. जे वर

उचलले जाते त्याची घनता किंवा सागराची खोली दोहांचा संबंध त्यात येत नाही. पाण्याऐवजी हवा घेतली तरी आपल्या गणनेच्या निष्कर्षात काही फरक पडणार नाही. वातावरणातील भरती आणि सागरातील भरती दोहोंच्या बाबतीत उत्तर एकच येते. प्रसंगवशात सांगायचे म्हणजे भरतीची उंची उपेक्षणीय असते. तात्त्विकदृष्ट्या सर्वात उंच सागरी भरतीची उंची साधारण अर्धा मीटरच असते, केवळ किनाऱ्याचे आणि तळाचे उंच-सखल आकार भरतीची लाट अडवून काही ठिकाणी ही उंची १० मीटर एवढी वर नेतात. विशेष ठिकाणी विशेष वेळी भरतीची उंची काय असेल हे सूर्य-चंद्राच्या स्थानांच्या आधारे अगोदरपासून सांगण्यासाठी खास पद्धती असतात.

परंतु हवेच्या अफाट सागरात चांद्र भरतीच्या तात्त्विक चित्रात कशाचाही अडथळा येत नाही आणि तात्त्विकदृष्ट्या त्याची जी उंची अर्धा मीटर असायला पाहिजे त्यात कशानेही फरक पडत नाही. साहजिक अशा क्षुद्र वाढीचा वातारवणाच्या दाबावर अल्प परिणाम होतो.

हवेतील भरतीसंबंधीच्या सिद्धान्तांचे संशोधन करताना लाप्लास अशा निष्कर्षाला आला की त्या पायी वातावरणाच्या दाबात जो काही फरक पडतो तो पाऱ्याच्या स्तंभाच्या ०.६ मिलिमीटरहून अधिक असू शकत नाही आणि वाऱ्याच्या वेगात जो फरक पडतो तो दर सेकंदास ७।। सेंटीमीटरहून अधिक असू शकत नाही.

सारांश, हवामान निश्चित करण्यामध्ये वातावरणातील भरतीचा काहीही महत्त्वाचा वाटा नाही.

आकाशात चंद्राचे स्थान पाहून त्यावरून हवामानाचे निदान करण्याचे 'चंद्र-वेत्त्यांचे' सारे उद्योग किती फोल आहेत हे या विवेचनावरून स्पष्ट होते.

❑❑❑

या पुस्तकात काय वाचाल?

हे पुस्तक खगोलशास्त्रावरील माहिती देते.

तुम्ही म्हणाल, 'खगोलशास्त्रावर अनेक पुस्तके आहेत मग हे आणखी एक कशाला?' या पुस्तकाचे वैशिष्ट्य असे की हे पुस्तक अगदी नवीन नवलपूर्ण दृष्टिकोणातून लिहिले आहे.

वरवर सोपे वाटणारे काही प्रश्न घ्या व त्यांची उत्तरे देण्याचा प्रयत्न करा बघू. चुकाल हं सांभाळा!

१. नकाशावर मुंबई ते केपटाऊनचा सर्वात जवळचा मार्ग कोणता? तुम्ही म्हणाल, 'हात्तेच्या! त्यात काय आहे? पट्टी घेऊन जोडा दोन्ही बंदरे!' — चूक.

२. उत्तर ध्रुवावर पोहोचलेला वैमानिक परतताना कोणती दिशा घेईल? तुम्ही म्हणाल, 'हे कसे काय सांगणार बुवा! त्याला परत कुठे जायचे आहे ते तर आधी सांगा.' — पुन्हा चूक.

३. दोन अगदी सारख्या गाड्या (एक पूर्वेला व दुसरी पश्चिमेकडे) जात आहेत. त्यांच्या वजनात किती फरक पडेल? तुम्ही म्हणाल, 'मुळीच नाही' — पुन्हा चुकलात.

४. फेब्रुवारी महिन्यात जास्तीतजास्त सोमवार किती? तुम्ही म्हणाल 'पाच' — चूक.

५. विश्वातील अत्यंत जड पदार्थ कोणता? लोखंड? — चूक.

६. चंद्राला ग्रहण कुठून लागते? उजवीकडून की डावीकडून?

७. गुरूच्या पृष्ठभागावरून आकाशाचे दृश्य कसे दिसेल?

८. तारे का चमकतात?

९. पृथ्वीचे वजन कसे काढले? सूर्याचे?

वगैरे वगैरे.

या व यांसारख्या अनेक मनोरंजक प्रश्नांची उत्तरे हे पुस्तक अत्यंत मनोवेधक पद्धतीने देईल.

मनुष्य अंतराळयानातून दूरच्या ग्रहांच्या सफरींची तयारी करू लागला आहे. या काळात खगोलशास्त्राचे प्राथमिक ज्ञान आवश्यक बनले आहे. ही माहिती या पुस्तकात आढळेल.

— आणि तीही चित्तवेधक स्वरूपात.

मूल्य : १६० रुपये

ISBN 81-88284-22-X